

**МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ И СОЦИАЛЬНОГО
РАЗВИТИЯ
МОСКОВСКИЙ МЕДИЦИНСКИЙ МЕДИКО-СТОМАТОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ФГУ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова
Росмедтехнологии»**

На правах рукописи

КОСТЮЧЕНКОВА НАТАЛЬЯ ВИТАЛЬЕВНА

**АБЕРРАЦИИ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ГЛАЗА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ
МЕТОДАХ КОРРЕКЦИИ АСТИГМАТИЗМА У ДЕТЕЙ И
ПОДРОСТКОВ**

14.00.08-глазные болезни

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Научный руководитель:
доктор медицинских наук
Дога А.В.

МОСКВА - 2008

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|-----|
| Введение..... | 5 |
| Глава 1. Обзор литературы..... | 12 |
| 1.1 Волновой фронт. Аберрации оптических систем..... | 13 |
| 1.2 Методы исследования аберраций оптической системы глаза..... | 16 |
| 1.3 Аберрации оптической системы глаза и их клиническое значение.. | 15 |
| 1.4 Динамика рефракции в детском возрасте..... | 24 |
| 1.5 Влияние различных методов коррекции на оптические аберрации глаза..... | 29 |
| 1.6 Современные тенденции в коррекции аномалий рефракции у детей и подростков..... | 31 |
| Глава 2. Материал и методы исследования..... | 40 |
| 2.1 Общая характеристика клинического материала..... | 40 |
| 2.2 Методы обследования пациентов..... | 43 |
| Глава 3. Результаты собственных исследований..... | 55 |
| 3.1 Аберрации оптической системы глаза у детей и подростков при эмметропии (контрольная группа)..... | 55 |
| 3.2 Аберрации оптической системы глаза у детей и подростков при различных видах астигматизма..... | 69 |
| 3.3. Исследование зрительных функций у детей и подростков с различными видами астигматизма..... | 79 |
| Глава 4. Контактная коррекция детей с астигматизмом..... | 87 |
| 4.1 Состояние волнового фронта при коррекции различных видов астигматизма мягкими торическими контактными линзами у детей подростков..... | 90 |
| 4.2 Состояние зрительных функций при коррекции различных видов астигматизма торическими контактными линзами у детей подростков..... | 92 |
| Глава 5. Эксимерлазерная коррекция детей с астигматизмом..... | 101 |
| 5.1 Рефракционные результаты..... | 101 |

| | |
|--|-----|
| 5.2 Результаты исследования волнового фронта, полученного в результате операции ЛАЗИК у детей и подростков..... | 108 |
| 5.3 Визуальные и функциональные результаты операции ЛАЗИК... | 111 |
| Глава 6 | |
| 6.1 Сравнительная характеристика волнового фронта, зрительных функций и аккомодации при коррекции астигматизма у детей и подростков методом ЛАЗИК и мягкими торическими контактными линзами..... | 122 |
| Заключение..... | 129 |
| Выводы..... | 136 |
| Практические рекомендации..... | 138 |
| Список литературы..... | 139 |

Принятые сокращения

АВП – аберрации высших порядков

АОСГ – аберрации оптической системы глаза

дБ – децибел

дптр – диоптрия

КОЗ – острота зрения с максимальной коррекцией

ЛАЗИК (LASIK – Laser in situ keratomileosis) – лазерный кератомилез in situ

МТКЛ – мягкие торические контактные линзы

НКОЗ – некорригированная острота зрения

ОАА – объем абсолютной аккомодации

ПКЧ – пространственная контрастная чувствительность

p – степень достоверности

СА – сферическая аберрация

СЭ – сферозэквивалент рефракции

ФРК – фоторефрактивная кератэктомия

ц/гр – циклов на градус

RMS HO (Root Mean Square High Order) – среднеквадратичная ошибка

волнового фронта для аберраций высших порядков

RMS Total (Root Mean Square Total) - среднеквадратичная ошибка волнового

фронта для суммарных (общих) аберраций

r – коэффициент корреляции

ВВЕДЕНИЕ

Во многом зрительное восприятие определяется анатомией сетчатки (диаметром и плотностью рецепторов), функциональным состоянием рецепторного аппарата, факторами нервной системы [8]. Однако значительную часть зрительного восприятия ограничивают аберрации (искажения) оптической системы, которые ухудшают разрешающую способность зрительного анализатора, снижают качество зрения, "размывают" изображения объектов, создают их окрашивание. Эти искажения могут вызываться всеми составляющими оптической системы глаза, в большей степени роговицей и хрусталиком.

Впервые монохроматические аберрации описал М. Tschering в 1864 г. В начале 20 века технология волнового фронта получила свое развитие в астрономии и применялась для улучшения изображения телескопов с минимизацией искажений волнового фронта, которые возникают, когда свет проходит турбулентные слои атмосферы [16]. Первым, кто охарактеризовал оптическую систему глаза, был в 1962 г. М. Смирнов. Он полагал, что аберрации можно будет компенсировать специальными индивидуальными линзами [103]. Благодаря бурному развитию рефракционной хирургии в последнее время были разработаны быстрые и точные приборы для определения аберраций глаза (абберометры или анализаторы волнового фронта). Проведенные исследования показали, что аберрации волнового фронта эмметропического глаза широко варьируют среди населения [17-21, 56, 96-97] и постепенно увеличиваются с возрастом [143]. Во всех публикациях возраст исследуемых колебался в широких пределах (от 9 до 70 лет) и отдельно не были проанализированы аберрации оптической системы в детской возрастной группе.

В настоящее время коррекция аномалий рефракции занимает одно из лидирующих мест в современной офтальмологии.

Известно, что астигматизм, сопутствующий различным аномалиям рефракции и наиболее трудно поддающийся коррекции, относится к абберациям второго (нижнего) порядка. Нередко он приводит к снижению остроты зрения, явлениям аккомодативной астенопии, анизометропии, нарушениям бинокулярного зрения и развитию амблиопии [63, 88-90]. Иррегулярный астигматизм, описанный многими исследователями [61, 102], по сути, является абберациями высших порядков, которые не могут быть компенсированы сферо-цилиндрической коррекцией.

Одним из объективных критериев эффективности различных методов коррекции зрения при аномалиях рефракции является оценка достигнутого результата по устранению существующих и профилактике индуцированных оптических аббераций глаза.

В контактной коррекции изучение аббераций глаза становится ценным дополнением в комплексе исследований при измененной форме роговицы (астигматизм, кератоконус, рубцовые изменения роговицы), для оценки степени деформации и прозрачности, а также эффективности применения контактных линз [38-40]. На сегодняшний день в широкую практику детских офтальмологов вошла контактная коррекция. Это связано с более совершенными конструкциями контактных линз, созданием новых полимерных материалов, внедряются более эффективные и надежные средства по уходу за контактными линзами. Показаниями к контактной коррекции у детей являются наличие аномалий рефракции, астигматизм, анизометропия, осложненные амблиопией, косоглазием, астенопическим синдромом, нарушения бинокулярного зрения и др. Наиболее эффективным при коррекции астигматизма является применение торических контактных линз. Однако в литературе встречаются лишь единичные публикации о применении мягких торических линз и их эффективности при коррекции астигматизма у детей [13, 69, 74]. В связи с этим большой интерес представляют оценка параметров волнового фронта в мягких торических контактных линзах у детей и

подростков и исследование функционального состояния глаза в зависимости от аберраций его оптической системы.

Достаточно широко аберрометрия стала использоваться в рефракционной хирургии. Рядом исследователей показано, что стандартные ФРК и ЛАЗИК эффективно устраняют аберрации второго порядка (дефокус и астигматизм), но они могут сами индуцировать аберрации высших порядков, снижающие качество зрения, которые могут выражаться в таких визуальных симптомах, как снижение остроты зрения при темновой адаптации, появление светящихся ореолов вокруг источника света, сниженное цветовосприятие. [9-11, 35, 37, 50, 113, 121, 122, 136, 140, 165, 180].

В последнее десятилетие ФРК и ЛАЗИК стали активно применять и в детской офтальмологии. Разработаны показания и противопоказания к применению данных методик [49, 65-67, 71-72, 93-95, 162-164, 168, 171]. Однако до недавнего времени данные о состоянии аберраций оптической системы глаза ребенка после операции и влиянии полученного в результате эксимерлазерного вмешательства волнового фронта на зрительные функции не встречались.

В связи с вышеизложенным, исследование влияния аберраций на оптику глаза при эметропии и различных методах коррекции астигматизма у детей и подростков, является актуальной проблемой, что определило цель и задачи настоящей работы.

Цель исследования – изучить особенности аберраций оптической системы глаза у детей и подростков при эметропии, различных видах астигматизма и методах его коррекции.

Задачи:

1. проанализировать аберрации оптической системы глаза у детей и подростков с эмметропией в разных возрастных группах и провести сравнение с взрослыми пациентами с эмметропической рефракцией;
2. выявить особенности аберраций глаза при различных видах астигматизма у детей и подростков и оценить влияние аберраций оптической системы глаза на состояние зрительных функций;
3. провести анализ волнового фронта у детей и подростков в мягких торических контактных линзах и оценить влияние индуцированных аберраций на функциональные результаты коррекции;
4. провести анализ динамики аберраций оптической системы у детей и подростков, после операции ЛАЗИК и оценить влияние индуцированных аберраций на функциональные результаты коррекции ЛАЗИК у детей;
5. провести сравнительную характеристику аберраций оптической системы глаза у детей и подростков при коррекции астигматизма мягкими торическими линзами и методом ЛАЗИК.

Научная новизна:

1. впервые на большом клиническом материале получены данные о структуре оптических аберраций у детей и подростков с эмметропией разных возрастных групп;
2. впервые на большом клиническом материале получены данные о структуре оптических аберраций у детей и подростков с различными видами астигматизма;
3. впервые дана оценка эффективности различных методов коррекции астигматизма у детей и подростков с позиции аберрометрии.

Практическая значимость работы

В процессе исследования получены данные о структуре оптических аберраций глаза у детей и подростков с эмметропией в возрастном аспекте,

которые могут быть использованы при планировании результата коррекции астигматизма.

Впервые разработаны подходы к выбору оптимальной коррекции астигматизма у детей и подростков на основе aberрометрии.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Исследование aberrаций является высокоинформативным критерием оценки качества оптической системы глаза при эмметропии и различных видах астигматизма.
2. Применение мягких торических линз позволяет корригировать астигматизм у детей и подростков, что приводит к уменьшению суммарных aberrаций, позволяя повысить остроту зрения, пространственную контрастную чувствительность, увеличить аккомодацию. Aberrации высших порядков имеют тенденцию к незначительному повышению при применении мягких торических контактных линз, что не оказывает влияния на функциональный результат коррекции.
3. Проведение операции ЛАЗИК приводит к снижению астигматизма и суммарных aberrаций, повышая остроту зрения, пространственную контрастную чувствительность, аккомодацию. Aberrации высших порядков имеют тенденцию к некоторому повышению после операции ЛАЗИК и не оказывают влияния на функциональный результат коррекции.

Реализация результатов работы

Результаты работы используются в диагностике детей и подростков с различными видами астигматизма в ФГУ МНТК «Микрохирургии глаза» им. акад. С.Н. Федорова Росмедтехнологии в отделении функциональной диагностики и плеопто-ортоптического лечения, в центре лазерной хирургии.

Публикации

По теме диссертации опубликовано 7 печатных работ из них 1 статья – в ведущем научном рецензируемом журнале, 1 статья подана в ведущий научный рецензируемый журнал.

Получено Свидетельство РФ об официальной регистрации программы для ЭВМ и 1 патент РФ.

Апробация работы

Работа прошла апробацию на научно-практической конференции ФГУ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова Росмедтехнологии» и кафедры глазных болезней Московского государственного медико-стоматологического университета (Москва, 2007).

Основные положения диссертации доложены и обсуждены на конференциях, посвященных актуальным вопросам контактной коррекции (Москва, 2005, 2006), на Всероссийской научной конференции молодых ученых (Москва, 2006), на Всероссийской научно-практической конференции Московского НИИ глазных болезней им. Гельмгольца (Москва, 2006), на II Всероссийской научной конференции молодых ученых с участием иностранных специалистов (Москва, 2007).

Структура и объем диссертации:

Диссертация изложена на 156 страницах машинописного текста и состоит из введения, 6 глав, заключения, выводов, практических рекомендаций и библиографического указателя. Работа иллюстрирована 23 таблицами и 40 рисунками. Библиография включает публикации 118 отечественных и 63 иностранных авторов.

Выражаю глубокую благодарность генеральному директору ФГУ МНТК «Микрохирургии глаза» им акад. С.Н. Федорова и заведующему кафедрой глазных болезней МГМСУ профессору, д.м.н. Х.П. Тахчиди за представленную возможность выполнения данной работы. Сердечную благодарность приношу своему научному руководителю д.м.н. А.В. Доге за практическое руководство в ходе выполнения работы, искреннюю благодарность приношу моему куратору к.м.н. Е.Г. Антоновой за помощь и поддержку в процессе всего периода работы. Огромную благодарность выражаю к.м.н. Т.Ю. Клюваевой, к.м.н. Н.П. Парфеновой, к.м.н. М.А.Корниловой за помощь в выполнении части работы, связанной с контактной коррекцией. Искреннюю признательность приношу к.м.н. Ю.И. Кишкину за помощь в выполнении части работы, связанной с эксимерлазерными операциями, проводимых у детей и подростков. Приношу сердечную благодарность к.м.н. Г.Ф. Качалиной за ценные советы в ходе выполнения работы, искреннюю благодарность выражаю инженерам лаборатории лазерных оптических исследований В.Г. Мовшеву, А.А. Кононенко, А.В. Макарову, приношу благодарность А.Н. Бессарабову за помощь в статистической обработке клинического материала.

Глава 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Волновой фронт. Аберрации оптических систем

Глаз является сложной оптической системой, поэтому ему присущи те же физические недостатки, которые характерны для любой оптической системы, снижающие качество зрения [16]. Несовершенство оптики человеческого глаза вызвано различными отклонениями в преломлении роговицы, хрусталика, внутриглазных сред, а также несовпадением оптической оси основных преломляющих сред.

Аберрации оптических систем (от лат. *Aberratio* – уклонение) - погрешности изображений, даваемые оптическими системами, проявляющиеся в том, что оптические изображения не вполне отчетливы, не точно соответствуют объекту или оказываются окрашенными [26].

В офтальмологической оптике под аберрацией понимают любое угловое отклонение узкого параллельного пучка света от точки идеального пересечения с сетчаткой в центре фовеолы при его прохождении через всю оптическую систему глаза. В реальной оптической системе всегда есть погрешности, отличающие её от идеальной системы. Аберрации "размывают" изображения объектов, создают окрашивание, ухудшают разрешающую способность оптических систем [102].

Основным понятием геометрической оптики является световой луч, то есть геометрическая линия, вдоль которой распространяется энергия световых колебаний [27]. *Волновым фронтом* называется поверхность, на всех точках которой световая волна имеет одну фазу, т.е. это поверхность, соединяющая точки на лучах, имеющих одинаковую длину оптического пути (длина оптического пути равна произведению пройденного лучом расстояния на показатель преломления среды, в которой проходит луч). Параллельный пучок света формирует плоский волновой фронт, а сферический фронт образуется из точечного источника света. Направление лучей всегда перпендикулярно

поверхности волнового фронта. Для оптической системы без aberrаций лучи, испускаемые точечным источником света, должны после прохождения через нее собираться в одной точке. При наличии у оптической системы aberrаций, лучи, после прохождения через эту систему, фокусируются в неправильной точке, смещаясь вдоль или поперек оптической оси или вовсе не могут собраться в одной точке [32].

К основным погрешностям реальной оптической системы относятся сферическая aberrация (СА), выражающаяся в размытости изображения и возникающая потому, что лучи, проходящие через периферию линзы, преломляются сильнее или слабее, чем лучи, проходящие через центр линзы; кома – это погрешность изображения, имеющая вид «кометы» с «хвостом» и образующаяся при прохождении широкого пучка лучей, через оптическую систему, элементы которой децентрированы относительно друг друга, астигматизм косых пучков, кривизна поля, дисторсия и хроматическая aberrация [27].

1.2. Методы исследования оптических aberrаций глаза

Измерение aberrаций глаза человека гораздо сложнее, чем оптической системы прибора. Это связано с неосесимметричностью оптической системы глаза, с постоянными изменениями преломляющих поверхностей глаза, флюктуацией аккомодации, с подвижностью глазного яблока [62].

Первые исследования aberrаций глаза человека производились субъективными методами [61, 102, 103].

В 1961 г. наш соотечественник М.С. Смирнов разработал психофизический метод измерения многих aberrаций высших порядков, который состоит в том, перед глазом с диском, в котором находится два отверстия, располагают два источника света. Подвижный источник света перемещают перед диском до тех пор, пока его изображение не сольется с неподвижным источником света. Это был субъективный aberрометр, т.к.

величины смещения подвижного источника по вертикали и горизонтали давали численные значения аберраций [103].

С целью количественной оценки степени иррегулярности рефракционной структуры роговицы при топокератометрии М. И. Исмаилов ввел понятие коэффициента неправильного астигматизма, который характеризует отклонение рефракции в данной точке роговицы от усредненного показателя ее рефракции [44].

Для исследования формы передней поверхности роговицы использовался метод фотокератографии. Фотокератограммы иллюстрировали характер и степень искажения отраженных колец, что позволяло судить об аберрациях роговицы. Однако, эти методы являлись описательными и не позволили вычислить точные значения аберраций высших порядков.

Наиболее удобными и менее трудоемкими являются исследования передней поверхности роговицы с помощью появившихся в последнее время компьютерных видеокератотопографов [46], которые представляют схему роговичной поверхности в виде цветовой карты, где каждому цвету соответствует определенный интервал значений рефракции и кривизны роговицы.

К объективным методам определения аберраций глаза относят приборы, позволяющие быстро и точно определить топографию роговицы и аберрации глаза. В настоящее время используется три принципиально различных метода исследования оптических аберраций глаза [16]:

1. метод, основанный на анализе ретинального изображения;
2. метод, основанный на анализе выходящего из глаза, отраженного от сетчатки параллельного пучка лучей;
3. метод, основанный на исследовании входящего в глаз пучка света.

Первый метод был открыт в 1894 г. М. Tschering. Действие его основано на субъективном определении аберраций волнового фронта. В 1977 г. Н.С. Howland и В.Н. Howland создали на принципе Чернинга субъективный абберрометр. Результатом дальнейших разработок было создание

субъективного абберметра «Spatially Resolvd Refraktometr» в 1993 г. При наличии aberrаций каждая точка будет проецироваться в разных местах сетчатки. Пациент с помощью специального джойстика должен слить каждую точку с крестиком. Угол, на который пациент смещает точку, и есть уровень aberrаций в каждой точке. Метод дает точные и высоко воспроизводимые результаты. Пациенты старше 10 лет легко справлялись с тестированием [160].

Другим вариантом абберметрии, основанным на анализе ретинального изображения, является абберметрия по отслеживанию луча. Он разработан в Киеве В.В. и С.В. Молебными совместно с И. Палликарисом (Греция). В этом способе производится измерение отклонения от точки фокуса опорного осевого луча, падающего по зрительной оси, другого лазерного луча, проецируемого на сетчатку параллельно опорному лучу, но на некотором расстоянии от него. При отсутствии aberrаций этот луч также должен после прохождения через оптические среды попасть в точку фиксации опорного луча. При наличии aberrаций в зоне прохождения луча он отклоняется от точки фокуса на расстояние, пропорциональное величине aberrации. Различие такого подхода состоит в том, что анализируется каждая точка в рамках входного зрачка последовательно, а не вся решетка сразу и, следовательно, результатом является хорошая воспроизводимость данных [16].

Вторым методом является технология измерения aberrаций глаза *по анализу вышедшего из глаза отобранного луча*, основанная на методах астрофизики и применявшаяся для тестирования телескопов. Впервые этот метод был открыт J. Hartmann в 1900 г., который с помощью непрозрачного диска с множеством отверстий, помещаемого перпендикулярно к плоскости зрачка, разделил вышедшее из глаза излучение на отдельные тонкие пучки. R.V. Shack, B.C. Platt предложили заменить перфорированный диск набором из микроскопических линз, которые могут фокусировать в определенной плоскости отдельные пучки вышедшего из глаза изображения. Таким образом, был найден путь к созданию современных приборов, получивших название абберметров типа Хартмана-Шака [178].

Третий метод исследований основан на компенсаторной юстировке падающего на фовеолу *входящего в глаз светового пучка*. В начале 17 века религиозный философ и астроном Христофер Шайнер обнаружил, что в несоразмерном глазу при рассматривании звезды через диск с двумя отверстиями образуется два изображения. Соответствующим стеклом эти изображения можно слить, если речь идет о миопии или гиперметропии, но если двоение вызвано aberrациями высшего порядка, то сферическая коррекция будет неэффективной [132].

На принципе *классической скиаскопии* основан метод исследования интегральной рефракции оптической системы глаза, разработанный фирмой NIDEK. Метод реализован в виде сканирующего щелевого рефрактометра «OPD-scan» в сочетании с корнеотопографической системой. OPD-scan сканирует щелью все 360 меридианов в течение 0,4 секунд. Информация о неравномерностях рефракции в пределах каждого меридиана заключена в интегральной рефракционной карте. Полученные данные представляются в виде четырех карт: топографической, карты оптической силы роговицы, карты интегральной рефракции и абберрометрической карты [155].

1.3 Аберрации оптической системы глаза и их клиническое значение

В 1937 г. F. Zernike использовал серии полиномов для описания аберраций волнового фронта (рис. 1.1).

| Полиномы Цернике | Оптический эквивалент |
|--|-------------------------|
| $Z_1^{-1} = \sqrt{4}\rho \sin(\theta)$ | Вертикальная призма |
| $Z_1^1 = \sqrt{4}\rho \cos(\theta)$ | Горизонтальная призма |
| $Z_2^{-2} = \sqrt{6}\rho^2 \sin(2\theta)$ | Астигматизм |
| $Z_2^0 = \sqrt{3}(2\rho^2 - 1)$ | Дефокус |
| $Z_2^2 = \sqrt{6}\rho^2 \cos(2\theta)$ | Астигматизм |
| $Z_3^{-3} = \sqrt{8}\rho^3 \sin(3\theta)$ | 3-х лепестковый дефокус |
| $Z_3^{-1} = \sqrt{8}(3\rho^3 - 2\rho)\sin(\theta)$ | Вертикальная кома |
| $Z_3^1 = \sqrt{8}(3\rho^3 - 2\rho)\cos(\theta)$ | Горизонтальная кома |
| $Z_3^3 = \sqrt{8}\rho^3 \cos(3\theta)$ | 3-х лепестковый дефокус |
| $Z_4^{-4} = \sqrt{10}\rho^4 \sin(4\theta)$ | 4-х лепестковый дефокус |
| $Z_4^{-2} = \sqrt{10}(4\rho^4 - 3\rho^2)\sin(2\theta)$ | Вторичный астигматизм |
| $Z_4^0 = \sqrt{5}(6\rho^4 - 6\rho^2 + 1)$ | Сферическая абберация |
| $Z_4^2 = \sqrt{10}(4\rho^4 - 3\rho^2)\cos(2\theta)$ | Вторичный астигматизм |
| $Z_4^4 = \sqrt{10}\rho^4 \cos(4\theta)$ | 4-х лепестковый дефокус |

Рисунок 1.1. Полиномы Цернике

К абберациям низшего порядка относят абберации 0, 1 и 2 порядка. Абберации 1-го порядка описывают плоский волновой фронт, наклоненный относительно горизонтальной или вертикальной оси, т.е. они описывают действие призмы. Абберации 2-го порядка описывают сферическую ошибку рефракции (дефокус) и астигматизм, которые в нормальном глазу составляют 80–90% от всех аббераций и традиционно корректируются значениями сферы, цилиндра и положением оси. К абберациям волнового фронта высшего порядка относят абберации, описываемые полиномами 3, 4 порядка и выше. Абберации высшего порядка ответственны за те дефекты оптической системы глаза, которые в технической оптике и принято называть абберациями, к ним относятся сферическая абберация, кома и комаподобные, астигматизм косых

пучков и др. Эти aberrации невозможно измерить традиционными методами исследования рефракции и исправить обычными методами коррекции [181].

Количественной характеристикой погрешностей оптической системы является среднеквадратичное значение ошибок отклонения реального волнового фронта от идеального фронта (Root mean square - RMS). Эта ошибка включает в себя все aberrации глаза и позволяет оценить, насколько они тяжелы. Однако и у этой характеристики есть определенные недостатки: большое значение RMS необязательно означает ухудшение качества изображения, т.к. одни aberrации могут компенсировать другие. Оптическая система считается хорошей, если коэффициенты Цернике близки нулю, а среднее квадратичное значение ошибок волнового фронта меньше $1/14$ длины волны (критерий Марешаля) [157]. Этот критерий должен соответствовать отношению Штреля, равному 0,8. Отношение Штреля характеризует степень размытости изображения на сетчатке (point spread function – PSF), т.е. отношение максимума функции распределения интенсивности в плоскости изображения к теоретическому максимуму или дифракционному пределу при заданном диаметре зрачка. Коэффициент Штреля в определенных условиях коррелирует с остротой зрения и при необходимости, можно прогнозировать остроту зрения, исходя из любых оптотипов на сетчатке [12].

Глаз, как любая оптическая система, обладает aberrациями [7, 8, 12, 16 - 21, 44, 52, 56, 61, 62, 96, 97, 116, 122, 135, 145, 153, 167, 172, 179]. Выявлено, что aberrации оптической системы глаза (АОСГ) зависят от формы и прозрачности роговицы и хрусталика, несовпадения оптических осей преломляющих поверхностей, локализации патологических изменений в сетчатке, прозрачности внутриглазной жидкости и стекловидного тела, могут быть как природными, так и индуцированными различными офтальмохирургическими вмешательствами.

Корниловским И.М., Годжаевой А.М. (2006) проанализированы значения коэффициентов Цернике низшего и высшего порядков в оптической системе эметропичного глаза. Было обследовано 66 глаз 33 пациентов в возрасте 16-

60 лет на анализаторе волнового фронта OPD-scan фирмы «NIDEK». Суммарные аберрации варьировали в пределах от 0,45 до 0,96 мкм. При сравнении трех групп эметропов выявлено достоверное увеличение аберраций с возрастом: в группе 28-40 лет ($0,67 \pm 0,02$) и 41-52 года ($0,68 \pm 0,03$) по сравнению с группой 16-27 лет ($0,57 \pm 0,03$). Наибольшей вклад в это увеличение внесли аберрации второго порядка – дефокус, определяющий степень фокусировки лучей на сетчатке. Астигматизм, обусловленный неодинаковой кривизной оптической поверхности в разных плоскостях сечения, в большинстве эметропических глаз был незначительным. Среди аберраций высших порядков наиболее значимыми были следующие коэффициенты Цернике: аберрации третьего порядка (кома и трейлоид) и аберрации четвертого порядка (сферическая аберрация). Как отмечают авторы, возрастная динамика прослеживается в увеличении показателей трейлоид (в группе 16-27 лет ($0,21 \pm 0,03$) и 28-40 лет ($0,24 \pm 0,09$) по сравнению с группой 41-52 года ($0,32 \pm 0,02$, $p < 0,05$) и сферическая аберрация (в группе 28-40 лет ($0,19 \pm 0,03$) и 41-52 года ($0,16 \pm 0,02$) по сравнению с группой 16-27 лет ($0,10 \pm 0,02$, $p < 0,05$). По мнению авторов, основной прирост аберраций четвертого порядка с возрастом связан в основном с изменениями в плотности ядра хрусталика, радиуса его задней поверхности и преломляющей силы .

Балашевичем Л.И. с соавт. (2004, 2005, 2007) обследовано 22 пациента (44 глаза) с эметропией на абберометре WASCА типа Хартмана-Шака (Ascuron, Германия), в ходе исследования было выявлено, что эметропия является внутренне неоднородным состоянием. Данные тотального уровня аберраций с дефокусом (PV OPD) имели значительный размах – $4,43 \pm 1,95$ мкм, RMS PV OPD – $1,05 \pm 0,44$, интегральный уровень аберраций высшего порядка составил $1,83 \pm 1,44$, RMS PV OPD НО – $0,3 \pm 0,14$. При обследовании 262 глаз с миопией, 56 глаз с гиперметропией, (сферэквивалент рефракции составил от -1,0 до -12,5 дптр и от 1,1 до 9,0 дптр, значения астигматизма варьировали от 0,5 до 6,0 дптр) получена прямая корреляция между сферическим эквивалентом рефракции и тотальным уровнем аберраций

($r \sim 0,59$, $p = 0,01$). Интегральный уровень aberrаций высших порядков оказался одинаков у пациентов с миопией ($1,8 \pm 1,1$) и эметропией ($1,83 \pm 1,14$) и статистически значимо возрастал при гиперметропии ($2,20 \pm 1,33$) [18-21].

Chalita M.R. et al. провели исследования волнового фронта в нормальном глазу на установке LADARWave с целью оценки определения корреляции между волновым фронтом, клинической рефракцией и корнеальной топографией. Было выявлено высокая корреляция aberrаций высших порядков с рефракцией, особенно комы ($0,35 \pm 0,29$ мкм), сферической aberrации ($0,36 \pm 0,31$ мкм), а также высокая корреляция волнового фронта с рефракцией в условиях циклоплегии ($P = 0,001$). Топография роговицы (цилиндрический компонент) не коррелировала с волновым фронтом ($P = 0,046$) [135].

Семчишиным В. с соавт. (2003) обследовано 130 глаз 90 пациентов в возрасте 18-63 лет, сферозэквивалент рефракции составил от $-8,0$ до $+2,0$ дптр, значения астигматизма были меньше $3,0$ дптр, зрачок имел способность расширяться до $7,0$ мм, максимально скорректированная острота зрения соответствовала 20/20. Все обследования проводились в условиях медикаментозного мидриаза на абберрометре волнового фронта Чернинговского типа. Топография роговицы регистрировалась с помощью видеокератоскопа и трансформировались в коэффициенты Цернике до 6 порядка. Было показано, что кома и сферическая aberrация отличны от нуля. Авторы выявили высокую корреляционную зависимость между коэффициентом С3 (вертикальный астигматизм) по данным кератотопографии и общими aberrациями ($p < 0,0001$, $r > 0,75$). Среднее отличие между значениями цилиндра (по данным абберрометра) и субъективного цилиндра составило $0,27$ дптр, отличие субъективного цилиндра от данных кератотопографии составило $0,59$ дптр. Статистически достоверная корреляция была получена между роговичными aberrациями и общими aberrациями для коэффициента третьего порядка типа комы ($p < 0,05$) и не обнаружено зависимости для коэффициентов четвертого и шестого порядков. Авторы делают вывод, что

астигматизм и кома имеют роговичное происхождение, а сферическая абберрация не коррелирует с абберрациями передней поверхности роговицы [96,97].

Увеличение диаметра зрачка вносит изменения в соотношение абберраций высших порядков. Если при диаметре зрачка, равном 5,0 мм доминируют абберрации третьего порядка, то при его увеличении до 8 мм возрастает доля абберраций четвертого порядка [93, 106, 141, 145]. Рассчитано, что критический размер зрачка, при котором абберрации оказывают наименьшее влияние на качество зрения и отвечают критерию Марешаля, составляет 3,22 мм [52, 53, 54, 97]. С возрастом изменение среднеквадратичных значений ошибок волнового фронта увеличивается почти в два раза. Абберрации волнового фронта высших порядков, такие как кома, сферическая абберрация достоверно коррелируют с возрастом [142]. Наибольшие изменения абберраций начинают проявляться после сорока лет, когда начинаются изменения в хрусталике, связанные с факосклерозом и начальной катарактой. Роговичные абберрации не коррелируют с возрастом, проявляясь в виде коэффициентов Цернике третьего и четвертого порядков [166].

Аккомодация, по данным ряда авторов, воздействует на карту абберраций оптической системы глаза [12, 59, 123, 141]. С возрастом от 30 до 60 лет абберрации высшего порядка удваиваются. В работе T. Fujikado et al. (2004) показано достоверное увеличение комы ($r=0,270$, $p=0,001$), сферической абберрации ($r=0,531$, $p=0,029$), абберраций высших порядков - $r=0,431$, $p=0,001$ [142]. Возможно, это связано с тем, что со временем эластичность и прозрачность хрусталика снижается, и он перестает компенсировать роговичные абберрации [142].

В работе И.М. Корниловского (2004) было показано влияние медикаментозного спазма аккомодации на структуру абберраций оптического тракта глаза. При первичном расширении зрачка и спазме аккомодации наблюдалось увеличение дефокуса и абберраций высших порядков. Однако на

фоне инстилляций мидриатика происходило уменьшение коэффициентов Цернике, что свидетельствовало о смешанной этиологии этих aberrаций. Прирост отрицательных значений сферического коэффициента на обоих глазах позволил автору сделать предположение об их хрусталиковом происхождении. Таким образом, автор делает вывод о том, что состояние хрусталика и аккомодации влияет как на суммарные aberrации глаза, так и на отдельные высокие порядки aberrаций оптической системы глаза [59].

Mierdel P. et al. (2004) при проведении оценки изменения aberrаций высоких порядков в зависимости от состояния внутриглазного давления и толщины роговицы в центральной зоне выявили колебания коэффициентов Цернике (кома и сферические aberrации) в течение суток от 0,025 мкм в 7 часов утра и до 0,062 мкм в 16 часов, и 0,087 мкм в 24 часа. Вторичный астигматизм достоверно увеличился. Достоверное снижение обнаружено между коэффициентами кома, вторичный астигматизм, сферическая aberrация, и внутриглазным давлением. Авторами была выявлена зависимость между этими aberrациями и толщиной роговицы, что позволило сделать вывод о том, что в течение дня изменения биомеханических свойств роговицы влияют на показатели коэффициентов Цернике, таких как кома, сферические aberrации и вторичный астигматизм [158].

По данным Sriviannaboorn S. et al. (2007), проводившими исследования aberrаций высших порядков на абберрометре Zywave (Bausch & Lomb), нет статистически достоверного их изменения в течении дня. Только вертикальный трейфойл имел тенденцию к снижению, однако полученные данные оказались статистически не достоверны [176].

К факторам, влияющим на aberrации, относится состояние слезной пленки. Обнаружено, что при разрушении слезной пленки aberrации высших порядков увеличиваются в 1.44 раза [160].

Aberrации высших порядков оказывают влияние на пространственную контрастную чувствительность [167, 169]. Островская М.А. (1963) провела исследования зависимости разрешающей способности глаза от aberrаций

субъективным методом. Сравнивались между собой значения астигматизма и положительной дефокусировки, которым соответствовал одинаковый предел разрешения при одном и том же контрасте и яркости фона. По данным автора, в среднем для значительного числа сравниваемых значения астигматизма оказываются в два раза больше соответствующих значений дефокусировки. Следовательно, предел разрешения глаза определяется геометрическими aberrациями пучков лучей, дающих изображение объекта. Автор показывает, что практически безвредными для качества изображения оказываются астигматизм около 1,0 дптр, кривизна изображения до +0,5 и -0,8 дптр и «хроматические разности». При этом не обнаруживается существенной зависимости пороговых значений первых двух aberrаций от яркости фона и контрастности объекта. Определены величины предела разрешающей глаза в зависимости от количественных сочетаний aberrаций оптической системы, характерных для наклонных пучков: хроматической разности увеличения, комы третьего порядка, астигматизма, кривизны поля. Автором показано совместное влияние на разрешающий угол сочетания aberrаций: хроматизма увеличения и комы, хроматизма увеличения и дефокусировки, а также хроматизма увеличения и астигматизма аддитативно. При совместном влиянии астигматизма и дефокусировки приращение разрешаемых углов в случае дневной яркости фона и контрастных объектов составляют 0,13-0,17 от величины суммарной aberrации, выраженной в минутах. Исследование влияния некоторых количественных сочетаний астигматизма, дефокусировки и комы показало, что происходит частичная компенсация воздействия на разрешаемый угол астигматизма и дефокусировки комой [77-79].

Таким образом, анализ литературных данных показывает, что на АОСГ имеют влияние различные факторы, такие как возраст, состояние аккомодационной функции, роговичной поверхности и хрусталика, клиническая рефракция, колебания внутриглазного давления, толщина роговицы и др. Однако все приведенные сведения о состоянии волнового фронта относятся к возрастной группе 16 лет и старше.

1.4 Динамика рефракции в детском возрасте

Глаз ребенка изменяется со дня рождения в течение всего периода развития организма. Ю.З. Розенблюм (1976) подразделяет 7 возрастных периодов рефрактогенеза, из которых 4 приходится на детский и подростковый периоды жизни [89, 90].

Первый период – от 0 до 12 месяцев жизни ребенка, когда происходит основная часть процесса эмметропизации. Наиболее благоприятной рефракцией для развития остроты зрения в этот период является гиперметропия в пределах 3,0-4,0 дптр [108].

Астигматизм не является самостоятельным видом клинической рефракции, а характеризуется комбинацией различных видов или различных степеней рефракции в одном глазу [89]. При этом оптическая система глаза преобразует параллельный пучок лучей в коноид Штурма, что исключает возможность получения четкого изображения на сетчатке и приводит к значительному снижению зрения как вдаль, так и вблизи [90]. Общий астигматизм возникает в результате взаимодействия двух основных преломляющих элементов оптической системы глаза: роговицы и хрусталика. По данным Нгуы (1950) в большинстве случаев хрусталиковый астигматизм уменьшает роговичный, благодаря чему общий астигматизм оказывается более низким, только в случаях высокого астигматизма имеет место обратное сочетание.

Величина астигматизма при рождении достигает 1,0-2,0 дптр и встречается у 45-65% новорожденных [119, 150, 151, 159]. Наиболее часто встречается астигматизм прямого типа до 1,5 дптр (в 45% случаях). Астигматизм более 3,0 дптр встречается у 10% детей [150].

Второй период - 1-3 года жизни ребенка, в который происходит интенсивный рост глаза и его структур. К концу этого периода глазное яблоко достигает 95-97% своей длины и у большинства детей формируется нормальная рефракция – гиперметропия 0,5-1,5 дптр. Это означает, что процесс эмметропизации в основном заканчивается [89]. В этот период

сохраняется большая распространенность астигматизма. В возрасте от 10 месяцев до 3 лет астигматизм более 1,0 дптр имеется у 8% здоровых детей и у 19% детей с аметропией [143]. Астигматизм более 1,5 дптр выявляют у 13,32% детей в возрасте 1 года и у 7,4% детей в возрасте 3,5 года [150]. У детей в первый год жизни астигматизм выше 1,0 дптр, в 3,5 года отмечается достоверно большее число случаев амблиопии (9,3%), чем у детей, не имевших астигматизма в первый год жизни (3,4%) [152].

Третий период (3-7 лет) - в дошкольном периоде рост глазного яблока практически завершается. Средняя рефракция у детей 3-5 лет составляет гиперметропия 2,0 дптр, у детей 4-7 лет – гиперметропия 1,0 дптр [33]. В этот же период, по-видимому, в основном формируются функции аккомодации и тесно связанной с ней конвергенции [1]. Врожденные аномалии рефракции закрепляются и приводят к функциональным нарушениям, в том числе при астигматизме – к развитию миопии и рефракционной амблиопии [90]. В этом периоде величина астигматизма уменьшается и становится менее 1,0 дптр. В возрастном периоде до 5 лет астигматизм более 1,0 дптр встречается в 12,1% случаев [146]. У детей старше 5 лет распространенность астигматизма 1,0-1,5 дптр невелика. Астигматизм, выявленный в более позднем возрасте, мало влияет на остроту зрения [125]. Уткин В.Ф. (1965) отметил у детей в возрасте от 3 лет гиперметропические виды астигматизма в 23,1-26,1% случаев, миопические – в 1,0-1,1% , в возрасте 3-6 лет соответственно 9,8-12,25 и 0,8-0,9%, в 7-10 лет – 4,5 – 7,6% и 1,1-1,6% [109]. Динамическое наблюдение за развитием рефракции одних и тех же детей позволило Полчаеву Н.А. и Левченко О.Г. (1977) сделать вывод, что развитие рефракции к 3 годам не заканчивается, хотя интенсивность изменения ее резко замедляется, и в 6-летнем возрасте увеличивается число глаз со слабыми степенями миопии и эметропической рефракцией [83].

Четвертый период характеризуется школьным возрастом (7-18 лет). В этот период формируется гиперметропическая рефракция 0,5-1,0 дптр, соответствующая рефракции взрослых и сохраняется в норме в течение всей

жизни [89]. 7-18 лет – это основной период формирования приобретенной миопии. Она возникает у 10-30% учащихся [45, 70]. При исходной гиперметропии рефракция усиливается в 22,2% случаях, при исходной эмметропии – в 46%, при исходной миопии – в 63,8% случаях [70]. Нередко просматривается связь прогрессирующей миопии с астигматизмом. По данным Betti (1958) миопия в сочетании с астигматизмом встречается в 83,5% случаев, миопия прогрессирует больше у детей имеющих прямой астигматизм [129]. Что касается распространения астигматизма у детей школьного возраста, то в литературе приводятся разноречивые данные. Так, Hess отметил астигматизм у 10-12% школьников, В.А. Сека (1929) – у 14,25%, Emmrich (1954) – 6,2% (цит. по Митрониной М.Л., 1996 [73]).

При астигматизме нередко наблюдается развитие рефракционной амблиопии, как одного из важнейших признаков дезадаптации.

По данным Ремизова М.С. (1968) средняя острота зрения без коррекции в случае астигматизма, превышающего 3,0 дптр, варьирует от 0,1 до 0,14, при астигматизме от 2,0 до 3,0 дптр - 0,25-0,27, при астигматизме от 1,0 до 2,0 дптр - 0,36-0,42 и при астигматизме до 1,0 дптр – 0,52-0,62 (цит. по Ермиловой И.А. 1998 [41]).

Что касается остроты зрения скорректированных астигматических глаз с различной степенью астигматизма, то можно указать на данные Steiger (1902), согласно которым при роговичном астигматизме в 1,5 дптр острота зрения варьирует в пределах 0,5-1,0 (средняя величина 0,8), при астигматизме 3,0-3,25 дптр – в пределах 0,25 – 0,8 (среднее значение 0,5) (цит. по Радзиховскому Б.Л., 1969 [88]). По данным Розенблюма Ю.З., (1976), при коррекции астигматизма степенью до 2,0 дптр максимально скорректированную остроту зрения удается получить в 64% случаев, при астигматизме 2,25-3,0 дптр - в 22% случаев, а при степени астигматизма свыше 3,0 дптр - лишь в 8% [89].

Помимо величины астигматизма существенное влияние на остроту зрения оказывают вид и тип астигматизма. При сравнительном исследовании Сергиенко Н.М. (1991), было выявлено, что при прямом или обратном

миопическом астигматизме пациенты показывали лучшую остроту зрения, чем при астигматизме с косыми осями [99]. Автором было обнаружено, что прямой астигматизм обеспечивает лучшее зрение вдаль по сравнению с обратным астигматизмом, тогда как вблизи все меняется наоборот [102].

Митрониной М.Л. (1996) изучены анатомо-оптические параметры глаз с гиперметропической рефракцией (глубина передней камеры, толщина хрусталика, продольная длина глаза, «сильный» и «слабый» меридиан роговицы) у 156 детей (250 глаз) в возрасте 4-7 лет, 8-11 лет, 12-16 лет. В исследуемой группе детей гиперметропический астигматизм выявили в 45,6% случаев. Автор указывает, что рост роговицы и формирование ее рефракции идут параллельно с вышеперечисленными анатомо-оптическими параметрами глаза и находятся в высокой корреляционной зависимости друг от друга. Коэффициент корреляции между параметрами равнялся $0,92 \pm 0,02$. С увеличением возраста показатели преломляющей силы роговицы как в «сильном», так и в «слабом» меридиане различны. Разница средних значений преломляющей силы роговицы в «сильном» и «слабом» меридианах составляет от 0,24 до 0,46 дптр ($p < 0,001$). Таким образом, автор делает вывод, что от 4 до 7 лет рост глаза еще имеет место и к 8 годам практически завершается формированием так называемого «гиперметропического глаза», имеющего ряд отличительных признаков: мелкая камера, толстый хрусталик, короткая передне-задняя ось [73].

Анализ офтальмологической патологии в детском возрасте за 10 лет (1986-1998г.), проведенный И.А. Ермиловой, показал, что на аномалии рефракции приходится 75,2%, из них различные виды астигматизма составляют 37,4%. Автором проведен анализ оптометрических параметров 49806 глаз 29906 пациентов 6-14 лет, обратившихся в МНТК «МГ». Длина глаза соответствовала степени аметропии. Толщина хрусталика достоверно больше при гиперметропической рефракции, чем при миопической ($p < 0,05$). Глубина передней камеры в 6-8-летнем возрасте составила в среднем $2,8 \pm 0,01$,

$\sigma=0,3$ мм, радиус кривизны роговицы $7,9\pm0,1$, $\sigma=0,2$ мм. Показатели существенно не менялись к 12-14 годам $-2,9\pm0,01$, $\sigma=0,26$ мм и $7,8\pm0,1$, $\sigma=0,22$ мм и не зависели от вида аметропии ($p>0,2$). Диаметр роговицы при миопии у детей 6-8 лет оказался равным $11,4\pm0,01$, $\sigma=0,1$ мм, при гиперметропии – $11,2\pm0,02$, $\sigma=0,16$ мм, то есть зависел от вида аметропии ($p<0,05$). В разных возрастных группах существенных отличий отмечено не было. Толщина роговицы в центре уже в 6-8 летнем возрасте составила в среднем 536 ± 2 , $\sigma=36$ мкм и не зависела от вида аметропии и не отличалась от таковой у взрослых [41].

Проведенные продольные исследования рефракции у детей третьего и четвертого возрастных периодов показали, что при астигматизме формирование рефракции в эти годы продолжается. Астигматизм остается стабильным только в $42,83 \pm 2,01\%$ случаев. В остальных случаях он изменяется в обе стороны: в $31,12\pm 1,94\%$ случаев уменьшается, в – $26,05\pm 1,84\%$ увеличивается. Изменение астигматизма зависит от его величины (чем больше астигматизм, тем больше тенденция к его изменению); направления сильного меридиана (чем ближе к горизонтали сильный меридиан астигматического глаза, тем больше проявляется тенденция к его увеличению); вида и степени аметропии (при более минусовой рефракции отмечается большая тенденция к изменению астигматизма); усилению рефракции и роста глаза (сдвиг рефракции в сторону миопии способствует усилению и увеличению астигматизма). Полученные данные Проскуриной О.В. (2007) позволяют считать, что астигматизм является фактором риска возникновения и прогрессирования близорукости [85-87].

Таким образом, оптическая система глаза ребенка не является стабильной, в процессе роста организма происходит изменение анатомо-оптических структур глазного яблока, с соответствующим изменением рефракции. По всей вероятности это не может не отразиться на аберрациях оптической системы глаза.

1.5 Влияние различных методов коррекции на оптические аберрации глаза

В нормальном глазу аберрации второго порядка составляют 80-90% от суммарных аберраций. Стандартные медицинские процедуры, направленные на устранение аберраций второго порядка, повседневны и проводятся уже длительное время. Исследования отклонений волнового фронта высшего порядка начали проводить лишь десять лет назад, так как подобные измерения требуют использования сложных приборов, способных регистрировать изменения волнового фронта.

Некоторые исследователи отмечают появление аберраций, индуцированных контактными линзами [39-41, 148]. Так выявлено, что мягкие контактные линзы могут вызывать монохроматические аберрации высокого порядка [148]. Егорова Г.Б. (2005-2007) при исследовании АОСГ высокого порядка выявила их увеличение в результате использования мягких мультифокальных контактных линз всех типов. Наибольший уровень наблюдался при коррекции линзами более сложной конструкции оптической зоны. Увеличение оптических аберраций сопровождалось снижением показателей контрастной чувствительности, которое было наиболее значимым на высоких частотах и составило с различными типами линз от 7,9 до 16,6%. Мультифокальные контактные линзы могут индуцировать аберрации по типу комы и пятого порядка [39-41].

Жесткие контактные линзы значительно уменьшают аберрации второго порядка. В результате проведенных исследований волнового фронта с помощью аберрометра Гартмана-Шака выявлено снижение уровня астигматических аберраций и аберраций высшего порядка при применении жестких двухрадиусных контактных линз и жестких газопроницаемых сфероторических контактных линз. В результате компенсации оптических аберраций показатели контрастной чувствительности увеличились на всех частотах. Однако асферичность поверхности жестких контактных линз может быть причиной сферических аберраций. Асферические контактные линзы

могут вызвать большую нестабильность остроты зрения, чем сферические контактные линзы при одной и той же подвижности за счет индуцирования aberrаций [57, 60, 100, 124, 138, 148].

Использование технологий волнового фронта позволило разработать методы изготовления контактных линз с целью максимальной нейтрализации aberrаций глаза. Однако ротация и изменение линзы на роговице ограничивают возможности компенсации aberrаций. Исследования aberrаций, индуцированных контактными линзами, открыли возможность изготовления линз определенного дизайна, который позволяет снизить уровень суммарных остаточных aberrаций глаза и повысить контрастную чувствительность [52,75].

Успехи современной офтальмохирургии обозначают новые проблемы, связанные с влиянием индуцированных хирургическим вмешательством aberrаций оптической системы глаза на функциональные исходы операции [4, 7, 8, 9, 12, 16, 105,106, 117]. Эти оптические погрешности вызывают ряд специфических расстройств зрительных функций, которые не находят интерпретации с точки зрения геометрической и физиологической оптики, и существенно снижают возможности медико-социальной и профессиональной реабилитации пациента [9, 10, 36, 58, 80].

Любое хирургическое вмешательство в оптический аппарат глаза индуцирует aberrации высших порядков [7, 8, 12, 16, 147]. Так, фоторефрактивная кератэктомия (ФРК) увеличивает aberrации роговицы (в основном третьего и четвертого порядка) и изменяет их соотношение, что может обуславливать низкое зрение после операции и появление жалоб на двоение изображения и ослепление при взгляде на источник света в скотопических условиях [165].

Проведенные исследования показывают, что при диаметре зрачка, превышающем 7,0 мм, ЛАЗИК индуцирует большее количество aberrаций, чем ФРК [90]. Вероятно, этим можно объяснить, что после проведенного

ЛАЗИК описывается большее количество жалоб пациентов, связанных с ослеплением, чем после ФРК [36, 136].

В последнее время разрабатывается методика проведения индивидуализированной абляции на основе aberromетрии, которая позволит достичь так называемого «суперзрения», т.е. остроты зрения 1,5 и более [8].

Для успешного проведения операций по коррекции зрения необходимо принимать во внимание аберрации передней поверхности роговицы и суммарные аберрации глаза при планировании операции [8, 10, 16]. Во время операции необходим контроль за положением глаза (для этого используется специальная техника юстировок). Результатом операции должно быть стремление оптимизации суммарных аберраций глаза, а не минимизация нерегулярностей на поверхности роговицы.

1.6. Современные тенденции коррекции аномалий рефракции у детей и подростков

Аномалии рефракции, приводящие к снижению зрения, занимают третье место среди детской глазной патологии.

Рефракционные нарушения у детей, потенциально опасные в плане формирования дезадаптации (как правило, это аметропии в сочетании с астигматизмом, часто приводящие к амблиопии, косоглазию), требуют срочной и своевременной коррекции [1].

Очковые линзы до сих пор остаются самым распространенным методом коррекции у детей и подростков. Известно, что впервые подобранные астигматические очки переносятся труднее в более старшем возрасте, чем в младшем [43, 88]. Адаптация к коррекции астигматизма у подростков наступает труднее, чем при других видах аметропий [90]. Е.И. Ковалевский считает возможным назначение очковой коррекции уже с 10-12 месяцев жизни ребенка [3]. Однако на практике вопрос о назначении очков возникает в 6-7 лет при поступлении детей в школу, а несвоевременная коррекция

астигматизма приводит к задержке развития зрительных функций и появлению стойкой амблиопии.

По данным В.Ф. Уткина (1965), правильно подобранные очки имели только 7,2% школьников, 20,7% учащихся младших и средних классов и 20% старшеклассников и абитуриентов с астигматизмом. Особенно часто отсутствуют корригирующие очки у мальчиков. Автор полагает, что широкое распространение косоглазия у детей с астигматизмом (4% дошкольников, 11,3% учащихся 7-14-летнего возраста и 9,5% старшеклассников и абитуриентов против 1,1% среди детей со сферическими видами рефракции), а также частые случаи отсутствия эффекта от непосредственной коррекции, связаны с отсутствием или несвоевременным и неправильным производством коррекции астигматизма. Но и правильная очковая коррекция часто не создает для глаз оптимальных условий. Полная коррекция школьников 8-17 лет с миопическим астигматизмом при работе на близком расстоянии приводит к возникновению усталости и астении, так как в большей степени влияет на утомление цилиарной мышцы, чем зрительная нагрузка [109].

Существенным недостатком очковых линз является их влияние на размеры ретинального изображения. По мере увеличения рефракции корригирующего стекла возрастает степень искажения изображения, в связи с чем возникает проблема в их переносимости [88]. Обращает на себя внимание и тот факт, что назначенные очки могут оказаться несоответствующими не потому, что они неправильно подобраны, но и потому что они неточно изготовлены оптиком: при этом чаще допускаются ошибки в расположении осей стекол. Повороты оси корригирующего цилиндра дают резкое снижение остроты зрения и чувство дискомфорта. Встречаются случаи, когда правильно подобранные и изготовленные очки совершенно не переносятся [88,89].

Другим традиционным методом коррекции у детей и подростков являются контактные линзы. Составляя единую оптическую систему с глазом, они практически не оказывают влияния на величину ретинального

изображения, увеличивают контрастность изображения, расширяют поле зрения и поле взора, не приводят к появлению призматического эффекта [47, 48,87].

Контактные линзы не вызывают гетерофории в боковых направлениях взора, уменьшают субъективно воспринимаемую анизейконию. Благодаря этому создаются оптимальные условия для слияния изображений двух глаз и, следовательно, сохранения и восстановления бинокулярного зрения [28, 69, 70, 74, 88].

По данным Неменко Ф.П., за 9 лет из 1513 пациентов для контактной коррекции обратились 319 (21,08%) человек с миопией, сочетающейся с астигматизмом, 341 (22,54%) с астигматизмом. Однако для коррекции астигматизма применяют в основном жесткие контактные линзы (цит. по Ермиловой И.А. 1996 [41]). Одним из главных требований, предъявляемых к контактными линзам, является их переносимость, которая обуславливается не только их механическими свойствами, но и способностью пропускать кислород к поверхности роговицы [14]. Материалы для изготовления контактных линз постоянно совершенствуются. Для изготовления жестких линз широко используется бутират-ацетатцеллюлоза. Наилучшим газопроницаемым эффектом обладает силикон, который пропускает до 60% кислорода. Силиконовые линзы все шире применяются для длительного ношения, особенно для детей [13, 69].

Максимальную остроту зрения при астигматизме, как правило, позволяют получить жесткие контактные линзы [48]. Они требуют определенного соответствия задней поверхности линзы передней поверхности роговицы для обеспечения хорошей переносимости. Детям рекомендуется пользоваться мягкими контактными линзами, так как к жестким линзам достаточно трудно адаптироваться. При деформации роговицы в случае астигматизма высокой степени этого добиться не легко [70].

В настоящее время, наибольшее распространение среди взрослого населения получила эксимерлазерная кераторефракционная хирургия [34, 36,

46, 50, 80, 81, 84, 104, 110, 112-114]. Рефракционные операции создают условия для совпадения фокусной области глаза с сетчаткой, то есть изменяется соотношение силы оптической системы к имеющейся длине оси глаза. Такие преимущества, как простота, кратковременность процедуры, прогнозируемость результата, малая травматичность и безопасность эксимерлазерной хирургии сделали возможным использовать этот метод коррекции в детской практике.

Aron J.J. считает, что ФРК может быть проведена у детей для лечения выраженной аметропии (миопии, гиперметропии и астигматизма). Целью операции является восстановление бинокулярного зрения, чего трудно добиться с помощью традиционных методов коррекции. В 1997 г. Nano H. С соавторы сообщили о проведении ФРК у 5 детей в возрасте от 11 до 14 лет по поводу анизометропической амблиопии. Показанием к операции послужило отсутствие положительного эффекта от лечения традиционными методами коррекции (подбора очков, контактной коррекции, окклюзии лучше видящего глаза). До операции сферический эквивалент рефракции составил 7,9 дптр. Острота зрения составляла без коррекции 20/800, с коррекцией 20/400. Хирургическое вмешательство проводили на эксимерном лазере VISX 20/20, эпителий удаляли с помощью лазерного излучения, затем выполняли эллипсоидную фотоастигматическую кератэктомия. Острота зрения с коррекцией в результате операции улучшилась с 20/400 до 20/72. Ни у одного из прооперированных пациентов не было засветов, фотофобии, гало-эффекта. По мнению авторов, у детей проведение операции также безопасно, как у взрослых (цит. по Воронину Г.В., 2001 [31]).

Доктор Alio J. с соавт. (2006) выполнили ФРК у детей более раннего возраста от 5 до 7 лет с миопическим астигматизмом, анизометропией. Дооперационная рефракция на глазах с амблиопией составила от -4,0 до -13,0 дптр, острота зрения с коррекцией составила от 20/40 до 20/400. Полученные результаты показали, что ФРК у детей может явиться альтернативным методом коррекции миопического астигматизма и важным этапом лечения

амблиопии [121]. Singh D. провел ФРК у 10 детей в возрасте от 10 до 16 лет. Из них у 5 была миопия, а у остальных анизометропия и амблиопия. Auqrata R. и соавт. проанализировали результаты ФРК у 13 детей и пришли к выводу, что метод является эффективным и безопасным в плане лечения миопической анизометропии [126].

Paysse E. F., Hamill M.V. и др. (2006) сообщили о проведении ФРК у 11 детей в возрасте от 2 до 11 лет с анизометропической амблиопией. До операции средняя рефракция для миопии была $-10,0 \pm 1,39$ дптр, для гиперметропии $+4,75 \pm 0,5$ дптр. Рефракционный эффект составил $-10,56 \pm 3,0$ дптр для миопии и для гиперметропии $+4,08 \pm 0,8$ дптр. Корнеальный хейз через 12 месяцев был минимален. Некорригированная острота зрения улучшилась на 2 и более строчки у 6 пациентов. Корригированная острота зрения улучшилась на 2 строчки у 3 пациентов [168].

Ряд исследователей рекомендуют проводить ЛАЗИК, так как при коррекции миопии высокой степени при проведении ФРК возможно развитие субэпителиального флера.

В 1997 г. Tarek S. применил операцию ЛАЗИК для коррекции односторонней миопии у 5 детей на 5 глазах в возрасте 7-8 лет и пришел к выводу, что данный вид хирургической коррекции может быть методом выбора при односторонней миопии (цит. по Воронину Г.В., 2001 [31]).

Rashad K. M. 14 детям в возрасте от 7 до 12 лет с миопической анизометропией и амблиопией провел лазерный кератомилез *in situ* на лазере «Chirion-Technolas Keracor 116». До операции сферический эквивалент рефракции составил от $-4,62$ до $-12,5$ дптр, острота зрения от 0,2 до 0,5. Через год после операции сферический эквивалент рефракции составил от 0 до $-1,5$ дптр. В 6 случаях острота зрения была 1,0. Без коррекции острота зрения 0,5 и выше отмечалась в 10 случаях. Автор сделал вывод, что метод является эффективным и безопасным для коррекции миопической анизометропии и профилактики развития амблиопии [171].

Азнаурян И.Э., Карамян А.А. (2000) использовали комплексную программу лечения меридиональной амблиопии с применением технологии ЛАЗИК, а также методы традиционной плеоптики. После достижения остроты зрения 0,8-1,0 на заключительном этапе выполняли эксимерлазерную операцию с целью отмены очковой коррекции и окончательной реабилитации пациентов [6].

В работах Рыбинцевой Л.В. (2000) представлены результаты лечения методом ЛАЗИК и РЭИК 110 пациентов (185 глаз) в возрасте от 9 до 17 лет на установке «NIDEK EC-5000». В группе детей средняя рефракция составила – 4,42 дптр (от -18,0 до +2,62 дптр). С гиперметропией было 5 глаз, сферический компонент рефракции был равен +0,47 дптр (от 0 до +1,37 дптр), цилиндрический компонент рефракции – 3,75 (от 3,0 до 5,25 дптр). С миопией было 19 глаз, сферический компонент рефракции в среднем был равен -6,85 дптр (от -0,62 до -18,0 дптр), цилиндрический компонент рефракции – 2,33 (от 0 до 4,25 дптр). Со смешанным астигматизмом было 9 глаз, в среднем сферический компонент рефракции составил +1,44 дптр (от 0 до +2,62 дптр), цилиндрический компонент рефракции – 3,97 (от 3,0 до 5,25 дптр). Максимальная острота зрения с коррекцией была 0,58, без коррекции 0,13.

В группе подростков средняя рефракция составила -4,35 дптр (от -16,0 до +3,62 дптр). С гиперметропией было 12 глаз, сферический компонент рефракции в среднем составил +1,98 дптр (от 0,62 до + 3,62 дптр), цилиндрический компонент рефракции – 2,48 (от 1,5 до 4,25 дптр). С миопией был 81 глаз, сферический компонент рефракции в среднем составил -5,1 дптр (от -1,75 до -16,0 дптр), цилиндрический компонент рефракции в среднем составил 0,57 (от 0 до 3,0 дптр). Со смешанным астигматизмом было 6 глаз, в среднем сферический компонент рефракции равнялся +1,24 дптр (от 0,5 до + 3,5 дптр), цилиндрический компонент рефракции в среднем составил -4,54 (от -5,0 до +5,0 дптр).

Максимальная острота зрения с коррекцией была 0,9, без коррекции 0,09. После операции через 1 год средняя сферическая рефракция составила в

группе детей -1,07 дптр, цилиндрический компонент 1,07. Максимальная острота зрения без коррекции была 0,59. Через три года - средняя сферическая рефракция составила в группе детей -0,91 дптр, цилиндрический компонент 0,95 дптр. Максимальная острота зрения без коррекции была 0,59. Во второй группе пациентов через 1 год средняя сферическая рефракция составила -0,63 дптр, цилиндрический компонент 0,68. Максимальная острота зрения без коррекции была 0,88. Через три года - средняя сферическая рефракция составила в группе подростков -0,63 дптр, цилиндрический компонент 0,75 дптр. Максимальная острота зрения без коррекции 0,91. В заключение автор делает вывод о том, что рефракционные эксимерные операции у детей и подростков показали свою эффективность и стабильность зрительного и рефракционного результатов в отдаленные сроки. Данная методика рекомендуется автором как альтернатива очкам и контактными линзами в качестве оптической коррекции детей и подростков [93-95].

Nassarela B.R.F. et al. (2001) проанализировали результаты операции ЛАЗИК у 9 детей в возрасте 8-15 лет с миопией, миопическим астигматизмом высокой степени, анизометропией и амблиопией. Операция проводилась под наркозом. После операции во всех случаях острота зрения повысилась на 0,5. Среднее значение сферического компонента рефракции изменилось с -7,66 до 0,22 дптр, астигматизма с -3,11 до 0,69 дптр. Во всех случаях характер зрения стал бинокулярным. Проведенное исследование показало, что ЛАЗИК выполненный детям в возрасте 8-15 лет по поводу миопической анизометропии является достаточно эффективным и безопасным вмешательством [162].

O'Keefe M., Nolan L. сообщили о проведении ЛАЗИК 6 детям в возрасте 2-12 лет с миопией высокой степени на установке Technolas 217. Рефракционный эффект составил - 7,2 дптр [164].

Aurtrata R. et al. (2004) изучили результаты коррекции у 27 детей с миопической анизометропией и амблиопией в возрасте от 4 до 7 лет.

Мультизональная ФРК была проведена на 13 глазах и ЛАСЕК на 14 глазах под общей анестезией на установке «NIDEK EC-50002» [126].

Вопрос эксимерлазерной коррекции гиперметропии и гиперметропического астигматизма остается до сих пор открытым [41, 42, 64-68, 71-73, 81, 93, 114, 170]. При адекватной коррекции очковыми линзами у большинства пациентов может наблюдаться выраженная рефракционная амблиопия. Жукова О.В. и Спиридонов Е.А. (2002) провели ФРК у 2 пациентов в возрасте 7 и 11 лет с гиперметропией средней степени на фоне амблиопии слабой степени и сходящегося косоглазия. ФРК проводили под внутривенным наркозом. Эпителий удаляли механически, после ФРК использовали лечебную контактную линзу. В результате лечения отмечена тенденция к ортофории, некорригированная острота зрения приближалась к максимально корригированной до операции [42].

Куликовой И.Л., Паштаевым Н.П. (2005) был проведен анализ 55 операций ЛАЗИК по поводу коррекции гиперметропии и гиперметропического астигматизма у детей и подростков в возрасте от 8 до 17 лет. Среднее значение сферического компонента рефракции до операции составило $4,88 \pm 1,89$ дптр, цилиндрического компонента рефракции – $3,35 \pm 0,95$ дптр. После операции через 1 год рефракционный эффект в среднем равнялся $3,25 \pm 0,19$ дптр. Прогнозируемость эффекта операции составила в среднем $\pm 1,0$ - 42%, $\pm 0,5$ - 25% случаев. Авторами было отмечено, что операция способствовала значительному увеличению остроты зрения, а также показателей пространственной контрастной чувствительности, которые после операции практически достигали уровня контрольной нормы ($p=0,01$). Авторы делают вывод о том, что гиперметропический ЛАЗИК у детей и подростков является безопасной и эффективной операцией, способствующей зрительной реабилитации при неэффективности консервативного лечения [66-68].

Из анализа литературных данных отчетливо видно, что недостаточное внимание уделяется исследованию волнового фронта у детей и подростков, в то время как исходя из теории рефрактогенеза в различные возрастные

периоды встречаются различная преломляющая сила роговицы, толщина хрусталика, размер передне-задней оси глаза. Не дана оценка оптической системы глаза с позиций aberрометрии при эмметропии в зависимости от возраста, не изучены влияние и роль физиологических aberраций в формировании зрительных функций в детской возрастной группе. Не определена роль aberрометрии в оценке эффективности коррекции астигматизма у детей и подростков. Поэтому данное исследование посвящено определению состояния физиологических aberраций, их влияния на зрительные функции, изучению эффективности коррекции астигматизма у детей и подростков различными методами коррекции с позиций волнового фронта.

Глава 2. Материалы и методы исследования

2.1. Общая характеристика клинического материала

Анализ оптической системы глаза был проведен у 264 человек (345 глаз), из них было обследовано 234 детей и подростков. Все дети были в возрастном диапазоне от 4 до 16 лет. Средний возраст составил $10,2 \pm 3,1$ лет. Распределение пациентов по возрасту представлено на рис. 2.1, из которого отчетливо видно преобладание детей в возрасте 7-11 лет. Обращаемость в этом возрасте связана с поступлением детей в школу и как следствие с увеличением зрительных нагрузок, появлением астигматических жалоб.

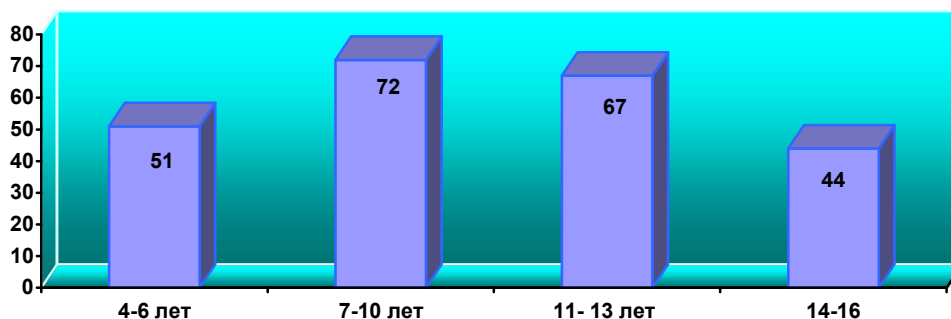


Рисунок 2.1
Распределение пациентов по возрасту

Распределение пациентов по полу представлено на рис. 2.2 и отмечено преобладание девочек 61,54% (144 глаза), мальчики составили 38,46% (90 глаз).

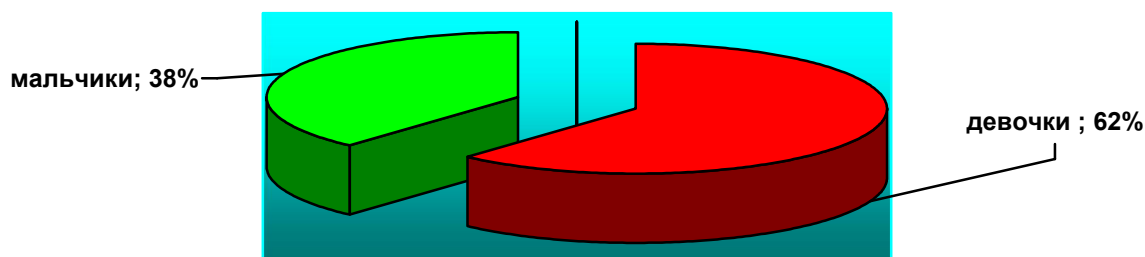


Рисунок 2.2
Распределение пациентов по полу

В основную группу исследования вошли дети и подростки с астигматизмом 121 пациент (202 глаза) в возрасте 4-16 лет (в среднем $10,2 \pm 3,1$ лет).

В основной группе распределение глаз по виду астигматизма (рис. 2.3) было относительно равномерным между сложным миопическим (58 глаз, 29,0%) и сложным гиперметропическим астигматизмом (67 глаз, 33,0%), между простым миопическим (30 глаз, 14,8%) и простым гиперметропическим астигматизмом (29 глаз, 14,3%). Немного меньше оказалось глаз со смешанным астигматизмом (18 глаз, 8,9%), которые в последствии нами были распределены в подгруппы с миопическим и гиперметропическим астигматизмом в зависимости от преобладания клинической рефракции.

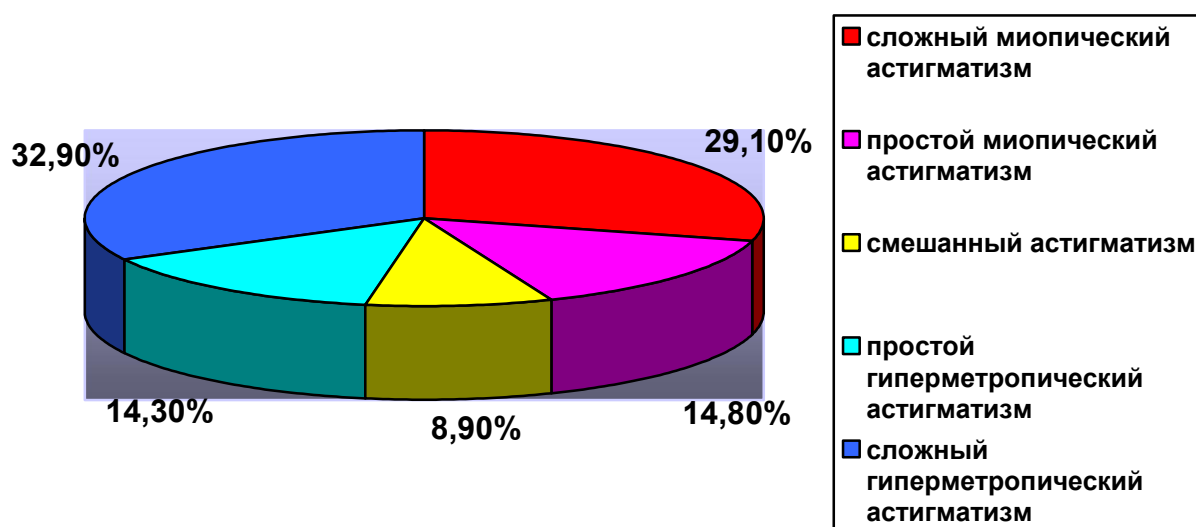


Рисунок 2.3
Распределение глаз по виду астигматизма

Все дети с астигматизмом были разделены на две подгруппы в зависимости от преобладания клинической рефракции. Распределение глаз по виду клинической рефракции представлено в табл. 2.1.

Распределение глаз по виду клинической рефракции

| Вид рефракции | Количество глаз | % |
|--------------------------------|-----------------|------|
| Эмметропия | 113 | 35,8 |
| Гиперметропический астигматизм | 104 | 30,4 |
| Миопический астигматизм | 98 | 28,1 |
| Всего: | 315 | 100 |

1-ю подгруппу составили 55 человек (98 глаз) простым и сложным миопическим астигматизмом, во 2-ой подгруппе находились 66 детей и подростков (104 глаза) с простым и сложным гиперметропическим астигматизмом. Величина астигматизма в основной группе варьировала от 0,75 до 6,25 дптр, в среднем величина астигматизма по данным авторефрактометрии составила $2,75 \pm 1,25$ дптр, роговичного астигматизма – $M \pm \sigma 3,5 \pm 1,5$ дптр. Амблиопия высокой степени была отмечена на 22 глазах (в 10,8% случаев), средней степени – на 39 (19,2%), слабой степени – на 88 глазах (43,35% случаев). Анизометропия свыше 2,0 дптр отмечена у 21,2% пациентов.

В контрольную группу вошли дети и подростки с эмметропией 113 человек (113 глаз) в возрасте от 4 до 16 лет ($10,8 \pm 1,2$) и взрослые пациенты (30 человек, 30 глаз) в возрасте от 17 до 40 лет ($22,3 \pm 2,1$) с эмметропией.

Из основной группы детей с астигматизмом были выделены подгруппы, основанные по принципу проводимой коррекции. 3-я и 4-я подгруппы (34 человека, 49 глаз), корригируемые мягкими торическими контактными линзами (МТКЛ) плановой замены SofLens 66 Toric в дневном режиме ношения. 5-я и 6-я подгруппы (27 детей и подростков, 32 глаза), которым при неэффективности очковой и контактной коррекции или астигматизме свыше 3,0 дптр, анизометропии свыше 2,0 дптр была проведена эксимерлазерная

операция ЛАЗИК по стандартной технологии под внутривенным наркозом (у детей до 14 лет).

Все дети были обследованы в сроки 1, 3, 6, 12 месяцев после назначенной коррекции. Средний срок наблюдения за детьми составил 2 года.

С целью повышения остроты зрения до и после коррекции всем детям проводили плеоптическое лечение, включающее в себя комплекс тренировочных функционально-психологических упражнений, лазер-, магнитостимуляцию, тренировку аккомодационной системы глаза.

2.2. Методы обследования пациентов

Всем пациентам проводился комплекс обследований, включавший в себя как общепринятые в офтальмологии методы: визометрия, рефрактометрия, офтальмометрия, ультразвуковая биометрия, пахиметрия, биомикроскопия, офтальмоскопия; так и специальные методы исследования: видеокомпьютерная кератотопография, аберрометрия, исследование пространственной контрастной чувствительности, определение объемов абсолютной аккомодации.

Визометрия определялась стандартным методом на проекторе знаков фирмы «Торсон» (Япония). Острота зрения определялась без коррекции, с переносимой коррекцией, с полной коррекцией, дающей максимальную остроту зрения.

Рефрактометрия – исследование объективной рефракции глаза проводили при помощи автоматического рефрактометра фирмы «Торсон» (Япония) как с узким зрачком, так и в условиях циклоплегии.

Оптическая сила роговицы определялась на автоматическом офтальмометре фирмы «Rodenstock» (Германия).

Ультразвуковая биометрия и пахиметрия проводились на приборе фирмы «Sonometric System Inc» (США).

Биомикроскопию переднего отрезка глаза проводили на щелевой лампе фирмы «Торсон» (Япония).

Прямую *офтальмоскопию* осуществляли с помощью электрического офтальмоскопа фирмы Heinz (Германия).

Видеокомпьютерную кератотопографию и aberрометрию проводили на приборе OPD-scan фирмы «Nidek» (Япония) - мультизональном автоматическом компьютерном анализаторе объективной рефракции и aberрометрии оптических сред глаза. Действие прибора основано на принципе щелевой инфракрасной динамической скиаскопии. Щелью сканируется 360 меридианов оптической поверхности глаза. Воспринимающее устройство регистрирует направление и скорость движения отраженного от сетчатки луча. По данным времени появления щели на каждом детекторе компьютер подсчитывает разницу в длине оптического пути. Форма aberрированного волнового фронта с помощью программного обеспечения Final Fit 1.11 описывается с помощью полиномов Цернике (рис. 2.4).

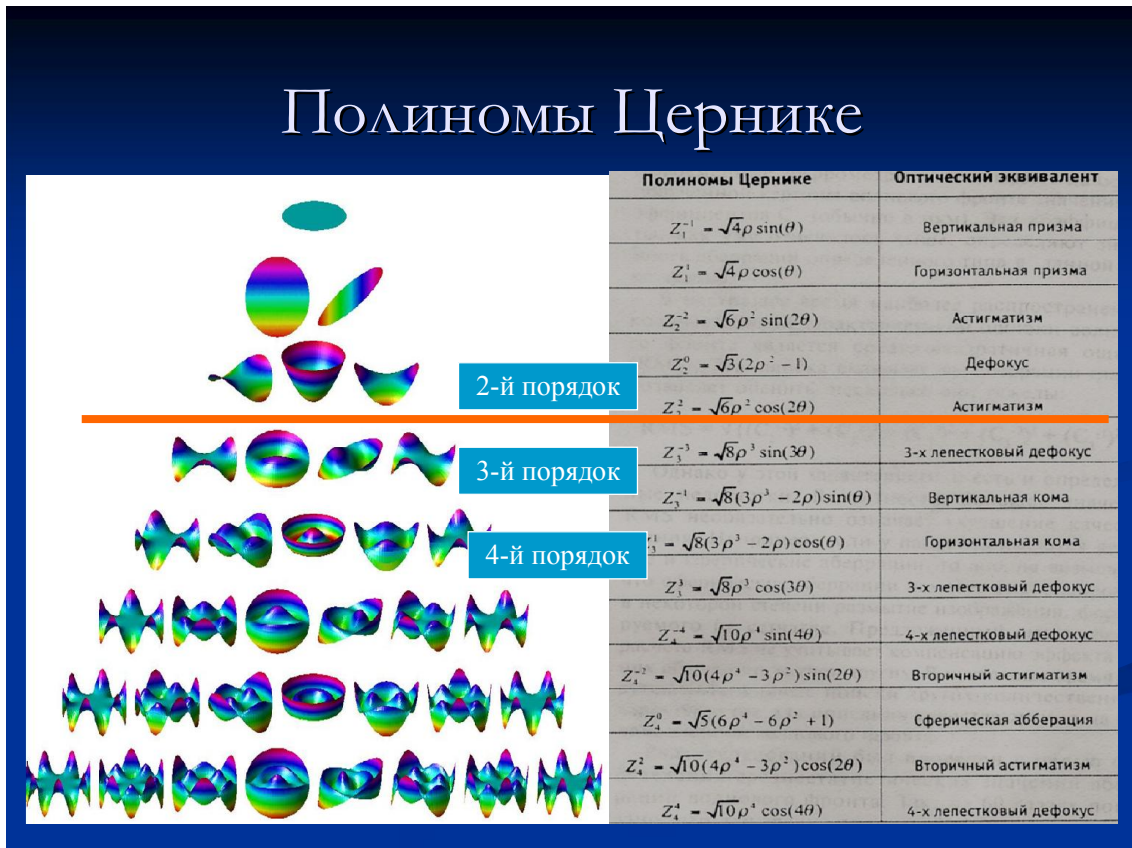


Рисунок 2.5

Пирамида полиномов Цернике

Они позволяют наглядно представить волновой фронт при различных видах aberrаций, исходя из полярной системы координат, то есть расчета положения каждой точки относительно расстояния по радиусу от центра зрачка и азимуту относительно горизонтали. Вследствие ортогональности полиномов Цернике любые отдельные aberrации перпендикулярны друг другу внутри единичного круга, что значительно упрощает решение отдельных задач, в которых приходится интегрировать по площади зрачка, и приводит к достаточно простым соотношениям между коэффициентами. Компьютер позволяет вычислить из карты волнового фронта дефокусировки и aberrации высшего порядка.

С помощью прибора представляется возможным получить и анализировать оптические aberrации глаза, объективную рефракцию в интервале $sph \pm 20,0$ дптр, $cyl \pm 12,0$ дптр, Ax от 0 до 359° и данные кератопогаммы от 10 до 100 дптр. Прибор оборудован встроенным

компьютером стандарта IBM PC (OS Windows 98), что позволяет архивировать все полученные данные и фотографические изображения.

При оценке аберраций оптической системы глаза, удобным для исследования является наличие интервала оцениваемой оптической зоны от 4,0 до 6,0 мм. Это позволяет анализировать исследуемые параметры в зависимости от ширины зрачка и оптической зоны формируемой поверхности в условиях естественной освещенности, т.е. при величине зрачка 2,0-3,0 мм, а также в мезопических условиях без применения циклоплегических препаратов.

Прибор OPD-scan оснащен программой для кератотопографических исследований. Принцип работы осуществляется путем проецирования колец Снеллена (19 расположено вертикально, 23 горизонтально) на роговицу пациента, охват роговицы – 0,41-11,0 мм в диаметре, радиус – $r=7.9$), ось измерения от 0 до 359°.

Особенностью прибора OPD-scan при работе с детской возрастной группой является высокая скорость сканирования (всего 0,4 секунд), а также возможность расчета и исследования аберраций оптической системы глаза при нерасслабленной аккомодации для диаметра зрачка 6 мм. Необходимо отметить, что исследование на приборе хорошо переносится пациентами, отличается эргономичным интерфейсом, который во время исследования не утомителен для пациентов.

Прибор позволяет получить карты:

- осевая карта,
- уточненная или тангенциальная карта,
- скорректированная диаграмма преломляющей способности роговицы
- карта рельефа роговицы (2 дптр, 3 дптр),
- карта оптической разности хода лучей (карта OPD суммарная),
- карта суммарного волнового фронта,
- карта волнового фронта высшего порядка,
- карта группы волновых фронтов (групповые аберрации),

- диаграмма коэффициентов Цернике,
- карта точечных рассеяний,
- карта оптической разности хода лучей от сетчатки до задней, поверхности роговицы (карта OPD внутренняя).

В зависимости от поставленных задач возможен выбор необходимых карт.

В работе оценивались следующие параметры: уточненная карта рельефа роговицы (Instantaneous), карта суммарного волнового фронта, карта волнового фронта высшего порядка, диаграмма коэффициентов Цернике.

Аналізу подвергались показатели волнового фронта: средняя квадратичная ошибка суммарного волнового фронта – Root Mean Square Total (RMS Total), состоящая из аберраций низшего порядка (дефокус и астигматизм) и аберраций высших порядков (оценивался параметр средняя квадратичная ошибка волнового фронта для аберраций высших порядков – Root Mean Square High Order (RMS HO). Коэффициенты Цернике анализировались до IV порядка включительно (комаподобные аберрации, трейфол и сферическая аберрация).

На рис. 2.5 продемонстрирован прибор OPD-scan корпорации NIDEK и проведение динамической инфракрасной абберрометрии и видеоконьютерной кератотопографии у ребенка 8 лет.



Рисунок 2.5

Исследование aberrаций оптической системы глаза на анализаторе волнового фронта OPD-scan ARK-10000 фирмы «NIDEK»

Передний отрезок глаза оценивали с помощью бесконтактного оптического томографа Visante OCT фирмы Zeiss, работающего на длине волны 1300 нм, со скоростью сканирования 8 кадров в секунду, с глубиной сканирования от 3 до 6 мм. Полученное изображение дало возможность визуализировать передний отрезок глаза: роговицу, переднюю камеру, угол передней камеры, переднюю поверхность радужки и хрусталика, а также измерить толщину роговицы, глубину передней камеры, расстояние от угла до угла, визуализировать угол передней камеры. Нами оценивалось положение контактной линзы на роговице, состояние роговичного клапана после эксимерлазерной коррекции.

Определение *пространственной контрастной чувствительности* (ПКЧ) осуществлялось монокулярно на приборе OPTEC 3000 фирмы Stereo Optical

Co., Inc (США), в котором пациенту демонстрировались тестовые изображения решеток разной пространственной частоты (всего 6 частот: 1,5, 3,0 цикл/гр, 6,0, 12,0, 18,0 цикл/гр) и переменного контраста в диапазоне от 0,5 до 30%. Тестирование проводилось в условиях максимальной коррекции и переносимой коррекции в условиях стандартной освещенности без засвета. В ходе исследования ребенок показывал угол наклона синусоидальных решеток. Для каждой частоты находили минимальный контраст, при котором ребенок еще мог указать направление наклона решетки. Показатели контрастной чувствительности рассчитывали как величины обратные контрасту и выражали в логарифмических единицах – децибелах (при этом контраст 100% соответствовал контрастной чувствительности 0 дБ, 10% - 10 дБ, 1% - 20 дБ). Результаты представлялись в виде графиков контрастной чувствительности [80].

Объем абсолютной аккомодации проводили с помощью прибора «Форбис» (Россия) с использованием миры для остроты зрения 0,1, 0,4, 0,7 в условиях максимальной коррекции.

Компьютерную обработку полученных результатов и статистический анализ осуществляли на персональном компьютере с использованием стандартных статистических программ.

2.3. Методика коррекции мягкими торическими контактными линзами у детей и подростков

Методика коррекции мягкими торическими линзами (МТКЛ) состояла из следующих этапов. Основными критериями, по которым отбирались дети на контактную коррекцию, были непереносимость полной очковой коррекции, амблиопия и астигматический синдром. Учитывался возраст пациентов (от 7 до 16 лет), интеллектуальные способности и возможность адекватного контакта с ребенком и его родителями. Перед назначением МТКЛ пациентам объяснялись преимущества и недостатки данного метода коррекции, и возможность ряда осложнений.

Подбор МТКЛ осуществляли следующим образом: после тщательного обследования оптической системы глаза детей и подростков, оценки состояния роговицы, определения топографической поверхности роговицы и оси астигматизма проводили подбор МТКЛ в соответствии с рефракцией [47].

Всем пациентам были предложены МТКЛ плановой замены «SofLens Torik» компании «Bausch & Lomb», с влагосодержанием 66%, кислородной проницаемостью материала Dk 32, в дневном режиме ношения.

При правильной посадке МТКЛ покрывала полностью роговицу (рис. 2.6), имела подвижность 1,0-1,5 мм от лимба, расположение лазерных меток во всех случаях находилось в пределах $\pm 5^\circ$ от 6 час, что указывало на соответствие оси контактной линзы и астигматизма (рис. 2.6).

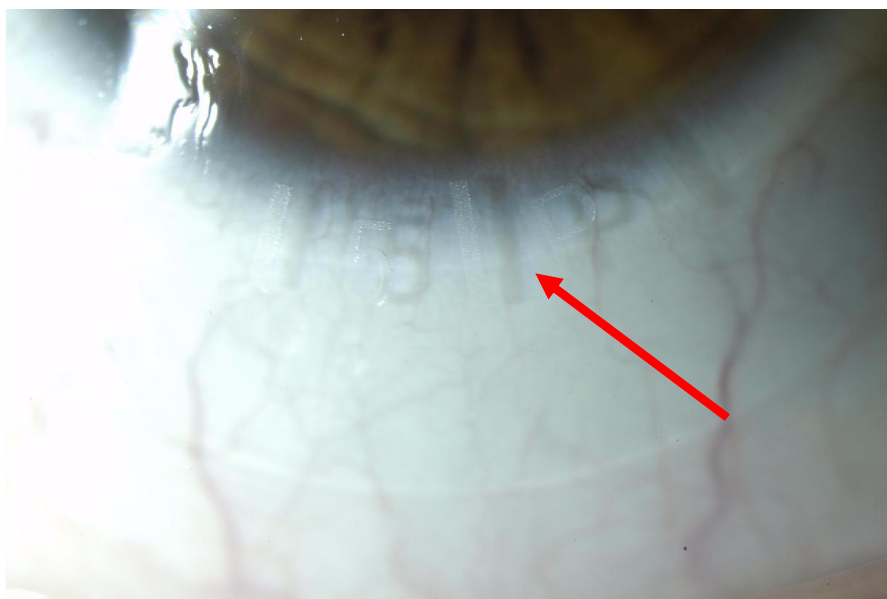


Рисунок 2.6

Правильное положение лазерных меток (указано стрелкой) при коррекции МТКЛ

При первичном подборе или большом перерыве все пациенты проходили адаптацию к линзам в течение одной недели. Все дети и подростки, а также их родители были обучены правилам ухода за МТКЛ и манипуляциями с контактной линзой. Все дети научились надевать и снимать МТКЛ

самостоятельно. Необходимо отметить, что применение МТКЛ у детей должно осуществляться при адекватном контроле со стороны родителей.

Осмотр пациентов осуществляли через 1 неделю, 1, 3, 6 месяцев, через год.

Средний срок наблюдения составил 2 года (от 1 года до 3 лет).

2.4. Технология проведения операции ЛАЗИК у детей и подростков

Осознавая всю лежащую перед нами ответственность, подход к оперативному методу коррекции астигматизма был взвешенным и продуманным. Алгоритм отбора детей и подростков перед операцией ЛАЗИК состоял из следующих этапов. Вначале отбирались те пациенты с астигматизмом и рефракционной амблиопией, у которых имелась непереносимость полной очковой коррекции и астенопический синдром. Затем проводилась попытка коррекции МТКЛ и при отказе от их ношения по психологическим и социальным причинам проводилась операция ЛАЗИК. Учитывался возраст пациентов (от 8 до 16 лет), возможность адекватного контакта с ребенком и его родителями. Проводился тщательный осмотр переднего отрезка глаза. Перед проведением оперативного вмешательства пациентам объяснялись преимущества и недостатки данного метода коррекции, и возможность осложнений.

Перед проведением операции ЛАЗИК с детьми проводилась дополнительная психо-терапевтическая подготовка, которая заключалась в :

- 1) установлении психологического контакта с ребенком и его родителями,
- 2) объяснительной и успокаивающей психотерапии с целью снятия напряжения и стрессовой реакции ребенка перед операцией,
- 3) предварительном просмотре операционной и знакомстве с работой приборов (для части детей более старшего возраста), беседой с прооперированными детьми, присутствием в операционной родителей,

- 4) трехкратных инстилляциях антибиотика «Тобрекс» в течение двух суток до проведения эксимерлазерного вмешательства.

Техника операции ЛАЗИК

Детям до 14 лет проводилась эксимерлазерная операция на отечественной установке «Микроскан» (рис. 2.7) по стандартной технологии под внутривенным наркозом [34].



Рисунок 2.7
Эксимерлазерная установка "Микроскан"

Центрацию зрачка и определение зрительной оси осуществляли предварительно перед проведением анестезии на операционном столе, величину смещения зрительной оси относительно центра зрачка заносили в базу данных лазера, а также контролировали непосредственно в ходе операции с помощью трекинговой системы лазера. Подросткам от 14 до 16 лет операцию выполняли под местной анестезией по стандартной технологии (А.В. Дога 2004) [35].

Для проведения ламеллярного среза использовали микрокератом Hansatome, с помощью которого формировали роговичный клапан толщиной

110-140 мкм, диаметром от 8 до 10 мкм. Расположение ножки клапана во всех случаях было на 12 час.

Обработку операционного поля проводили бетадином в соответствии с требованиями, предъявляемыми к другим рефракционным операциям.

Парный глаз прикрывали салфеткой для предупреждения неправильной перекрестной фиксации взгляда (у подростков 14-16 лет).

Хирург определял расположение зрительной оси, корректировал трекинг-систему лазера на компьютере. Затем давали внутривенный наркоз. Устанавливали векорасширитель. На глаз накладывали вакуумное кольцо необходимого диаметра для получения нужного диаметра среза в соответствии с исходной кривизной роговицы и профилем предстоящей абляции.

Если диаметр предстоящего среза соответствовал запланированному, то поверхность роговицы орошали сбалансированным раствором и микрократомом формировали роговичный клапан. Шпателем его откидывали кверху и складывали, затем определяли точность фокусировки лазерного луча по зрительной оси совмещением двух красных точек прицельного лазера и луча наводки на вершине роговицы.

Начинали лазерную абляцию. Расчет абляции проводили на основе данных рефрактометрии в сочетании с топограммой роговицы при контроле aberрометрических показателей.

По завершении абляции сформированное ложе промывали сбалансированным раствором, проводили осмотр на предмет наличия включений под клапаном. После этого тупфером из-под клапана удаляли избытки влаги от ножки к периферии, клапан просушивали в течение трех минут для необходимой адгезии, закапывали раствор антибиотика, векорасширитель удаляли. Производили осмотр, при наличии эпителиальных дефектов наносили актовегиновый гель на роговицу.

Послеоперационное ведение пациентов заключалось в трехкратных инстилляциях раствора антибиотика («Тобрек») в течение 7 дней и 0,1%

раствора Дексаметазона в течении 3 недель по схеме: 3 раза в день, 2 раза в день, 1 раза в день, уменьшая на одно закапывание в неделю.

Осмотр пациентов проводили на следующий день после операции, через 1, 3, 6, 12 месяцев. Средний срок наблюдения составил $1,5 \pm 0,5$ года (от 6 месяцев до 2,5 лет).

Глава 3. Результаты собственных исследований

В настоящее время анализ волнового фронта является наиболее информативным методом исследования оптической системы глаза. Аберрометрия может служить высоким прогностическим тестом для определения эффективности различных методов коррекции астигматизма у детей и подростков.

3.1 Аберрации оптической системы глаза у детей и подростков при эметропии (контрольная группа)

Оптическая система глаза в детском возрасте не находится в стабильном состоянии. По данным различных авторов (Е.И.Ковалевский 1987, Ю.З. Розенблюм 2002, О.В. Проскурина 2007) процесс рефрактогенеза и эметропизация глаза происходит неодинаково в различные возрастные периоды. Поэтому изучение аберраций оптической системы глаза у детей и подростков с эметропией в зависимости от возраста представляет большой интерес.

Проанализированы аберрации оптической системы глаза 113 человек (113 глаз) детей и подростков (учитывались результаты обследования только одного глаза) с эметропией в возрасте от 4 до 16 лет ($10,8 \pm 1,2$ года) и 30 взрослых пациентов (30 глаз) с эметропией в возрасте от 17 до 40 лет ($22 \pm 2,1$ года) (рис. 3.1.)

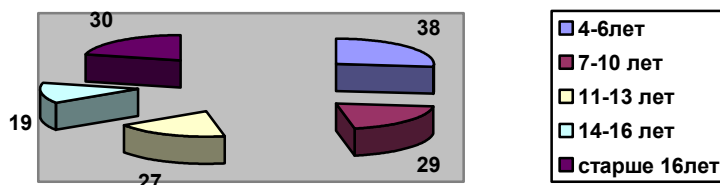


Рисунок 3.1 Распределение пациентов по возрасту

Распределение пациентов с эмметропией в зависимости от возраста показано в табл. 3.1, из которой видно, что эмметропия была выявлена во всех возрастных группах. По данным Балашевича Л.И. (2007) эмметропия является внутренне неоднородным состоянием и две трети исследованных с остротой зрения 1,0 имели отклонения в сторону аметропий или астигматизм выше физиологического [19]. В нашем исследовании рефракция по сферэквиваленту у детей и подростков с остротой зрения 1,0 и выше в среднем составила $0,236 \pm 0,3$ дптр (от 0,5 до -0,25 дптр). Однако при циклоплегии была выявлена слабая гиперметропическая рефракция ($1,0 \pm 0,025$, $p \leq 0,05$) в группе детей 4-6 лет. Для контроля были выбраны дети и подростки, у которых не было высокого тонуса аккомодации (разница между данными авторефрактометрии в естественных условиях и при циклоплегии). По данным Проскуриной О.В. (2007), у детей с эмметропией имеется тонус аккомодации в среднем -0,5 дптр [87, 76,]. Средний тонус аккомодации у детей и подростков в нашем исследовании составил -0,5 дптр, это позволило исключить случаи спазма аккомодации.

Таблица 3.1

Клиническая рефракция (сферэквивалент) при циклоплегии и в естественных условиях в контрольной группе пациентов с эмметропией ($M \pm \sigma$, дптр)

| Возраст | 4-6 лет | 7-10 лет | 11-13 лет | 14-17 лет | Старше 17 лет |
|----------------------|------------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| Естественные условия | $0,335 \pm 0,04$ | $0,258 \pm 0,1$ | $0,23 \pm 0,1$ | $-0,02 \pm 0,3$ | $-0,05 \pm 0,1$ |
| Циклоплегия | $1,0 \pm 0,025$ | $0,5 \pm 0,01$ | $0 \pm 0,021$ | $0 \pm 0,022$ | $0 \pm 0,01$ |

По данным литературы процессы рефрактогенеза завершаются к 10-12 годам. В этот период происходит окончательное формирование передне-задней оси глаза, изменяется кривизна хрусталика и роговицы, а также происходит формирование зрительных функций [2, 3, 41, 73, 87].

Нами проведены исследования анатомо-оптических параметров глаза у детей и подростков в различные возрастные периоды и определена корреляционная зависимость между анатомо-оптическими параметрами и абберациями оптической системы глаза.

Выявлена тенденция изменения оптической силы роговицы с возрастом (табл. 3.2). Средние значения оптической силы роговицы в «сильном» меридиане в возрасте 4-6 лет составляют $44,45 \pm 2,2$ дптр (от 40,61 до 48,75 дптр), а в возрасте 11-13 лет - $42,41 \pm 1,4$ дптр (от 40,27 до 46,75 дптр), коэффициент корреляции равен $r = -0,18$. Средние значения оптической силы роговицы в «слабом» меридиане в возрасте 4-6 лет составляют $43,46 \pm 2,2$ дптр (от 39,89 до 47,75 дптр), а в возрасте 11-13 лет - $41,47 \pm 1,4$ дптр (от 39,24 до 46,0 дптр), коэффициент корреляции составляет $r = -0,16$. Эти данные позволяют говорить о том, что с возрастом у детей и подростков происходит незначительное уплощение роговицы, как в «сильном», так и в «слабом» меридианах.

Известно, что с возрастом происходит увеличение передне-задней оси глаза. По данным Ю.З. Розенблюма (1976) наиболее интенсивный рост длины глаза происходит в возрасте до трех лет. Однако ряд авторов отмечают незначительное продолжение роста глазного яблока при эмметропии после трех лет [89].

Нами выявлены достоверные различия увеличения передне-задней оси глаза у детей в возрасте 4-6 лет по сравнению с возрастной группой 10-13 лет. Среднее значение передне-задней оси глаза у детей в возрасте 4-6 лет составляет $22,8 \pm 0,5$ мм (от 20,87 до 24,28 мм), в возрасте 11-13 лет - $23,77 \pm 0,4$ мм (от 22,11 до 24,3 мм), коэффициент корреляции равен $r = 0,41$ ($p < 0,05$).

Среднее значение глубины передней камеры у детей в возрасте 4-6 лет составляет $3,15 \pm 0,24$ мм (от 2,8 до 3,66 мм), в возрасте 11-13 лет - $3,25 \pm 0,23$ мм (от 3,0 до 3,66 мм), коэффициент корреляции равен $r = 0,17$.

Среднее значение толщины хрусталика у детей в возрасте 4-6 лет составляет $3,9 \pm 0,19$ мм (от 3,64 до 4,28 мм), в возрасте 11-13 лет – $3,7 \pm 0,31$ мм (от 3,35 до 4,2мм), коэффициент корреляции равен $r = -0,26$.

Таблица 3.2

Анатомо-оптические параметры глаза у детей и подростков в различные возрастные периоды ($M \pm \sigma$)

| Показатель | Возраст, лет | | | |
|-------------------------------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|
| | 4-6 | 7-10 | 11-13 | 14-16 |
| Сферэквивалент, дптр | $-0,26 \pm 0,31$ | $-0,33 \pm 0,4$ | $-0,27 \pm 0,2$ | $0,15 \pm 0,02$ |
| Роговица, дптр «сильный»меридиан | $44,45 \pm 2,2$ | $43,77 \pm 1,64$ | $42,41 \pm 1,4$ | $42,4 \pm 1,2$ |
| Роговица, дптр «слабый»меридиан | $43,46 \pm 2,2$ | $42,57 \pm 1,45$ | $41,47 \pm 1,4$ | $41,3 \pm 1,1$ |
| ПЗО, мм | $22,8 \pm 0,5$ | $23,1 \pm 1,02$ | $23,77 \pm 0,4$ | $24,04 \pm 1,02$ |
| Толщина хрусталика, мм | $3,9 \pm 0,19$ | $3,83 \pm 0,1$ | $3,7 \pm 0,31$ | $3,5 \pm 0,15$ |
| Глубина передней камеры, мм | $3,15 \pm 0,24$ | $3,38 \pm 0,4$ | $3,25 \pm 0,23$ | $3,25 \pm 0,13$ |

* $P < 0,05$ отличие достоверно между группой детей 4-6 лет и остальными группами пациентов с эметропией.

Из табл. 3.2 следует, что с возрастом происходят достоверные изменения анатомо-оптических параметров. В младшей возрастной группе (с 4 до 6 лет) оптическая система достоверно отличается от оптической системы остальных возрастных групп: короткая передне-задняя ось, крутая роговица, более толстый хрусталик, мелкая передняя камера. С 7-летнего возраста и старше не было отмечено зависимости анатомо-оптических параметров от возраста.

При анализе поверхности роговицы у детей и подростков с эмметропией были выявлены основные типы кератотопограмм, характерные для пациентов с эмметропией. «Кругло-овальное плато» (по классификации Vogan S.J., 1990) выявлено в 48,5% случаев (рис. 3.2), равномерная «вертикальная бабочка» или «песочные часы» в 39% (рис. 3.3) и «стекающая капля» в 12,5%. Необходимо отметить, что кератотопограммы типа «вертикальная бабочка» встречались чаще в младшей возрастной группе. В литературе мы обнаружили аналогичные данные. Так анализ кератотопограмм по данным Балашевича Л.И. (2007) показал наличие у большинства взрослых пациентов с эмметропией астигматизм выше 0,5 дптр, а также было выявлено три их типа, характерных для эмметропов: равномерная вертикальная бабочка, «стекающая» капля и равномерно-симметричный тип.

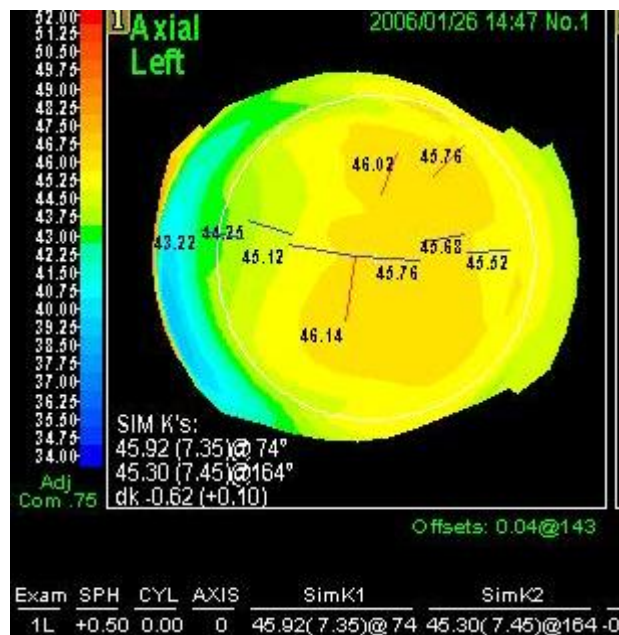


Рисунок 3.2 Кератотопограмма по типу кругло-овальное плато

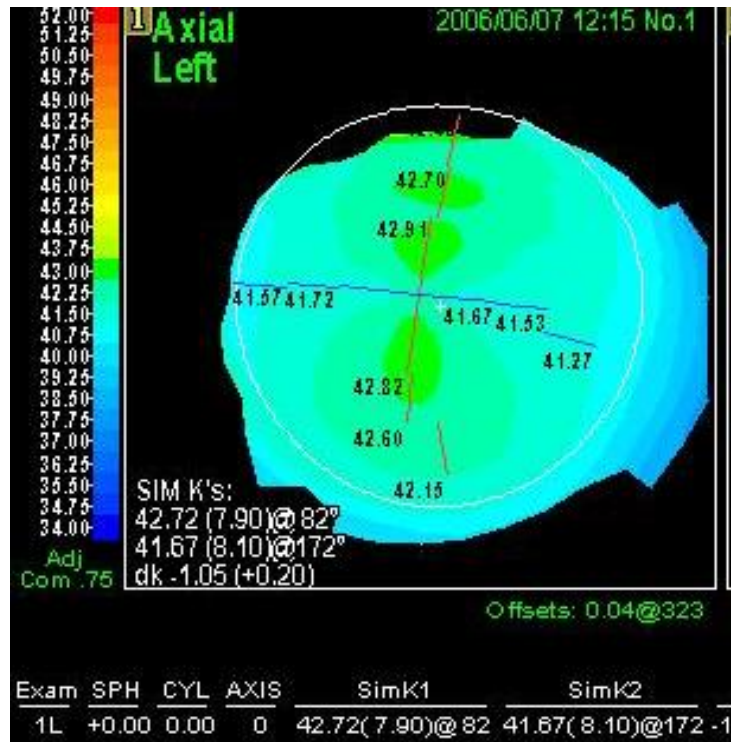


Рисунок 3. 31 Вид кератотопограммы по типу "песочных часов" или "вертикальной бабочки"

Таким образом, с возрастом происходит уменьшение оптической силы роговицы, увеличение передне-задней оси глаза, уплощение хрусталика.

Аналогично данным корнеальной топографии анализу подверглись aberрометрические карты суммарного волнового фронта детей и подростков с эмметропией. По данным Балашевича Л.И. (2007) при анализе aberрограмм авторами были определены следующие типы, характерные для эмметропичных глаз у взрослых пациентов: равномерно-симметричный, вертикально-симметричный, несимметричный. Нами были выделены следующие типы aberрограмм, характерные для эмметропического глаза:

1. кругло-овальный тип, (рис. 3.4)
2. равномерно-круглый тип, (рис. 3.5)

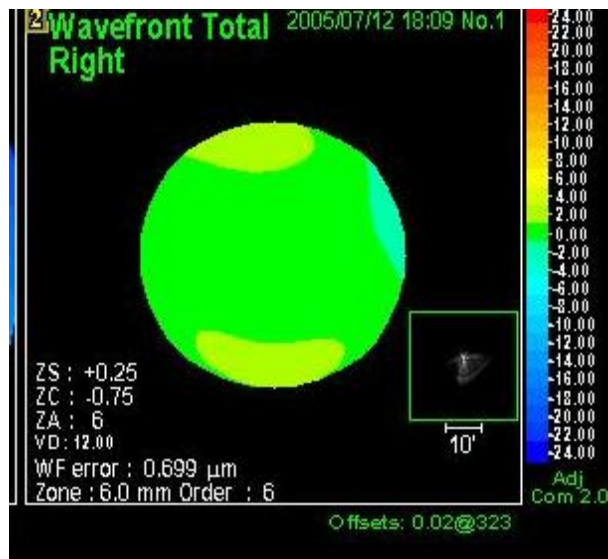


Рисунок 3. 4. Кругло-овальный тип абберограммы



Рисунок 3.5 Круглый тип абберограммы

С применением высокоточных приборов (анализаторов волнового фронта) стала реализовываться возможность не только качественного описания aberrаций, но и их количественного определения. В большинстве абберометров используются полиномы Цернике, которые позволяют отдифференцировать суммарный волновой фронт (RMS Total) на aberrации низших порядков (дефокус и астигматизм) и aberrации высших порядков (RMS High Order) (сферическая aberrация (CA), кома, комаподобные aberrации и др.). Под сферической aberrацией понимают погрешность

изображения, выражающуюся в размытости, которая возникает из-за разного преломления лучей, проходящих через центр и периферию линзы. Кома – это погрешность изображения, имеющая вид кометы с хвостом. Образуется при прохождении луча через оптическую систему, элементы которой децентрированы относительно друг друга. Трефоил имеет вид трилистника. Возникает при иррегулярности оптической поверхности.

При анализе АОСГ обнаружены изменения у детей и подростков с возрастом. В табл. 3.3 показаны основные aberрометрические показатели (коэффициенты Цернике), характерные для эметропических глаз в различные возрастные периоды.

Таблица 3.3

Зависимость aberrаций оптической системы глаза от возраста у пациентов с эметропией (n=143) для величины зрачка 6 мм в мезопических условиях (M±σ, мкм)

| Показатель | Возраст | | | | |
|------------------|------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| | 4-6 лет, n=38 | 7-10 лет, n=29 | 11-13 лет, n=27 | 14-16 лет, n=19 | Взрослые, n=30 |
| RMS Total | 1,065±0,37 | 0,834±0,36* | 0,876±0,28* | 0,941±0,49* | 0,704±0,31* |
| Дефокус | 0,610±0,2 | 0,532±0,5* | 0,596±0,4* | 0,585±0,59* | 0,542±0,31* |
| Астигма- тизм | 0,420±0,32 | 0,493±0,32* | 0,511±0,34* | 0,536±0,3* | 0,476±0,1* |
| RMS HO | 0,343±0,17 | 0,258±0,06* | 0,268±0,09* | 0,288±0,14* | 0,216±0,13* |
| Кома | 0,179±0,12 | 0,180±0,10* | 0,14±0,08* | 0,157±0,11* | 0,116±0,05* |
| Трефоил | 0,264±0,18 | 0,194±0,11* | 0,17±0,06* | 0,172±0,08* | 0,193±0,11* |
| СА | 0,102±0,061 | 0,089±0,08* | 0,12±0,01* | 0,1±0,064* | 0,072±0,15* |

Примечание: различие достоверно между группой 4-6 лет и остальными возрастными группами с $p < 0,05$.

Как видно из табл. 3.3 в группе детей 4-6 лет АОСГ были достоверно выше ($p < 0,05$) в младшей возрастной группе (4-6 лет), по сравнению с остальными группами. В группах 7-10 лет, 11-13 лет, 14-17 лет зависимости от возраста не наблюдалось (различия между группами не достоверны $P > 0,05$).

На рисунках 3.6, 3.7 показана зависимость АОСГ от возраста ($r = -0,2$, $p < 0,05$), где отчетливо прослеживается тенденция к снижению аберраций высших порядков (АВП), из них большим изменениям с возрастом подвергается трейфол. Относительная стабилизация этих показателей происходит к 7-10-летнему возрасту (на графиках указано стрелкой). С 7 до 16 лет не наблюдается корреляционной зависимости аберраций оптической системы от возраста ($r = -0,05$), что позволяет предположить, что процесс формирования оптической системы у детей с эмметропией завершается к 7-10 годам.

На графике зависимости аберраций высших порядков от возраста доля изменения зависимой переменной Y (НО) выражается через переменную X и линию регрессии. Значение R^2 показывает, что примерно 9% колебаний АВП может быть связано с возрастом и выражается полиномиальной моделью, а остальные 81 % колебаний связаны с другими параметрами.

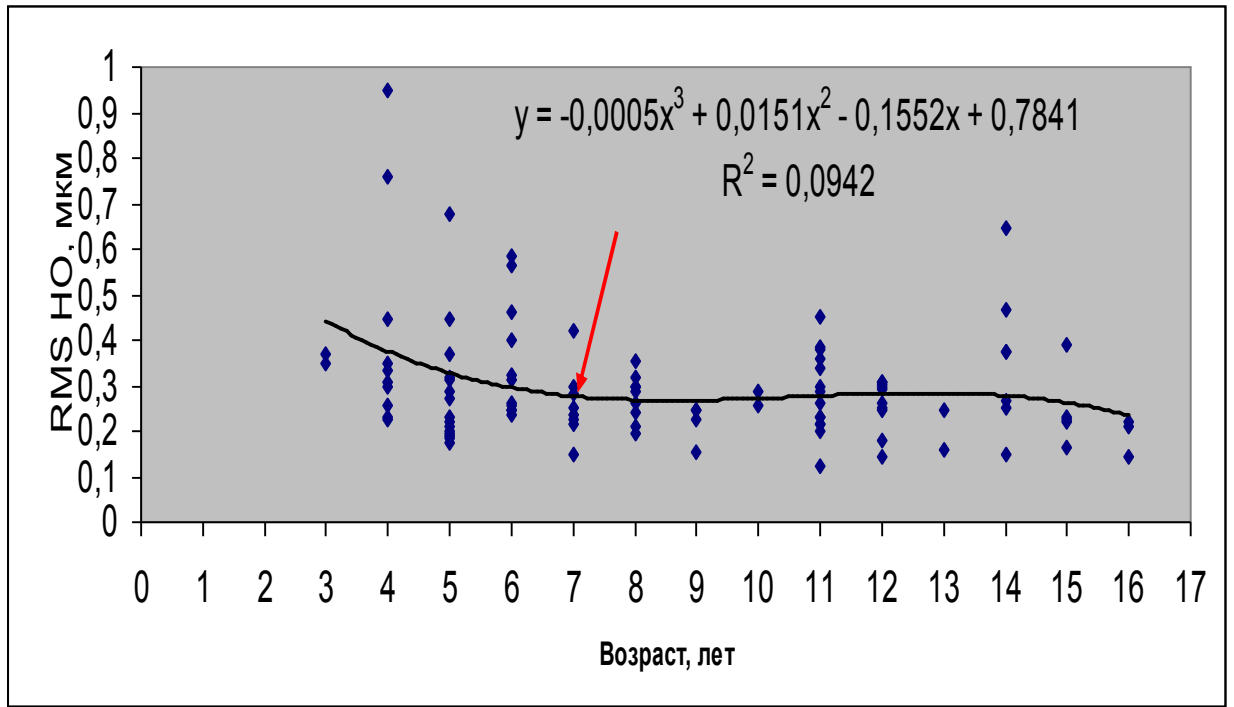


Рисунок 3.6

Зависимость RMS HO (мкм) от возраста

На графике зависимости трейфола от возраста показано, что примерно 7% колебаний трейфола связано с возрастом (рис. 3.7).

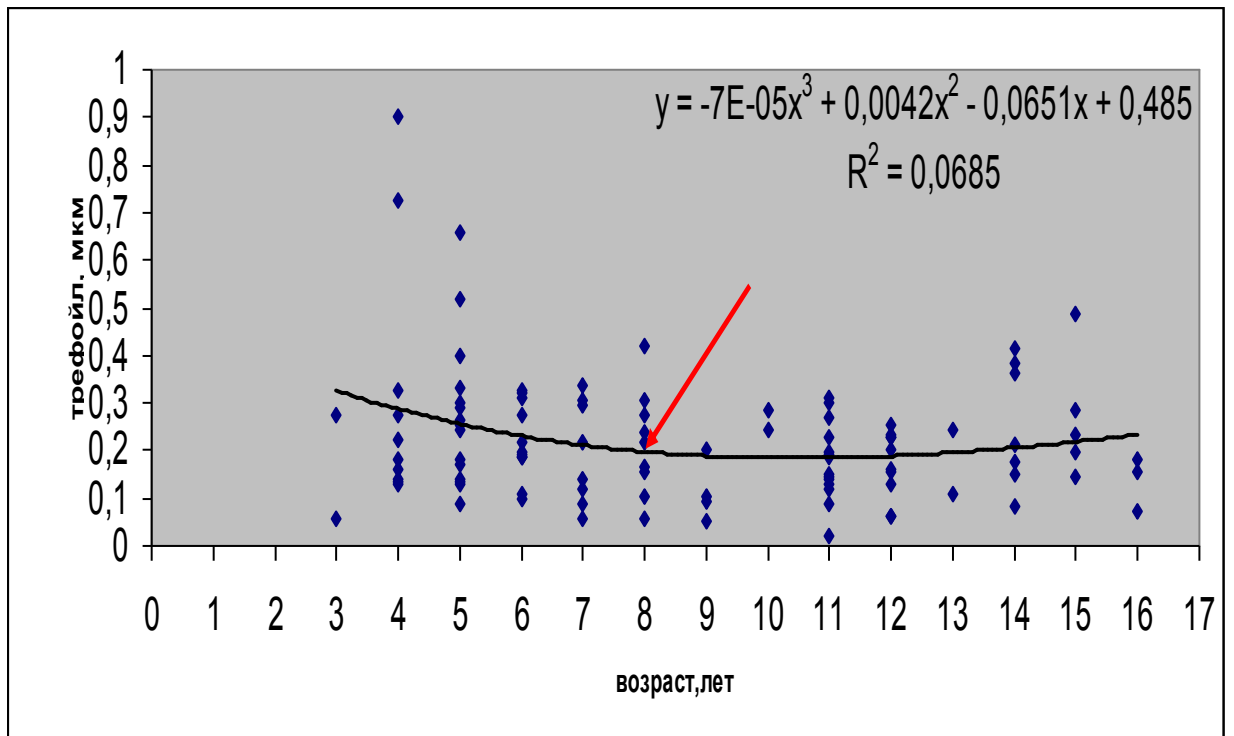


Рисунок 3.7 Зависимость трейфола (мкм) от возраста

Интересно отметить, что кома и СА не коррелировали с возрастом. На рис. 3.8 – 3.9 видно, что зависимости этих коэффициентов Цернике от возраста имеют вид прямой, проходящей параллельно оси абсцисс.

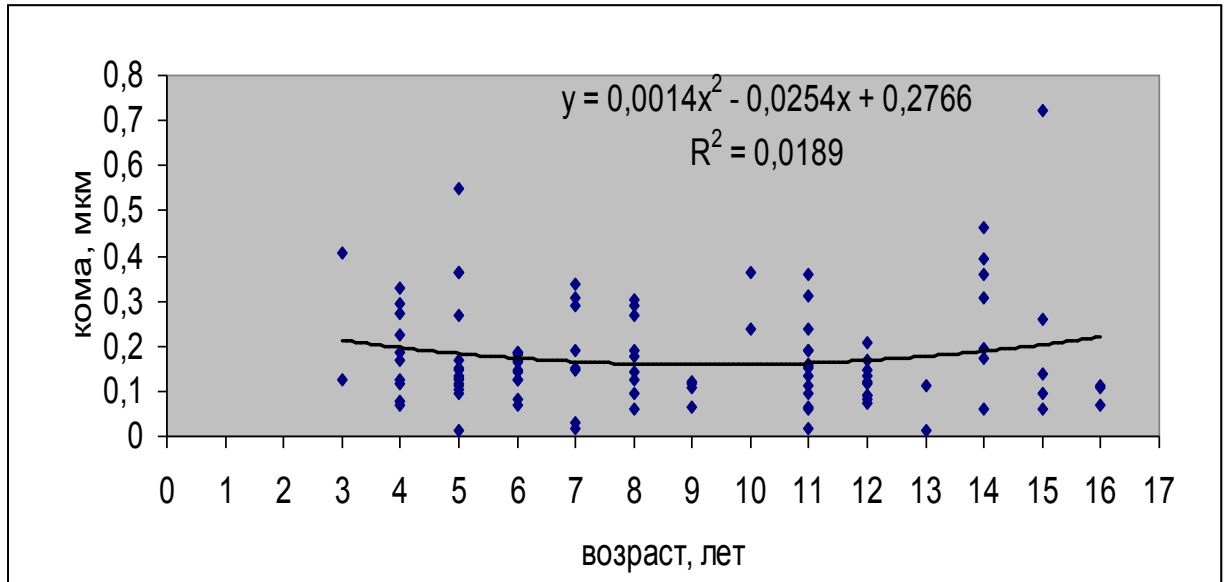


Рисунок 3.8. Зависимость комы (мкм) от возраста

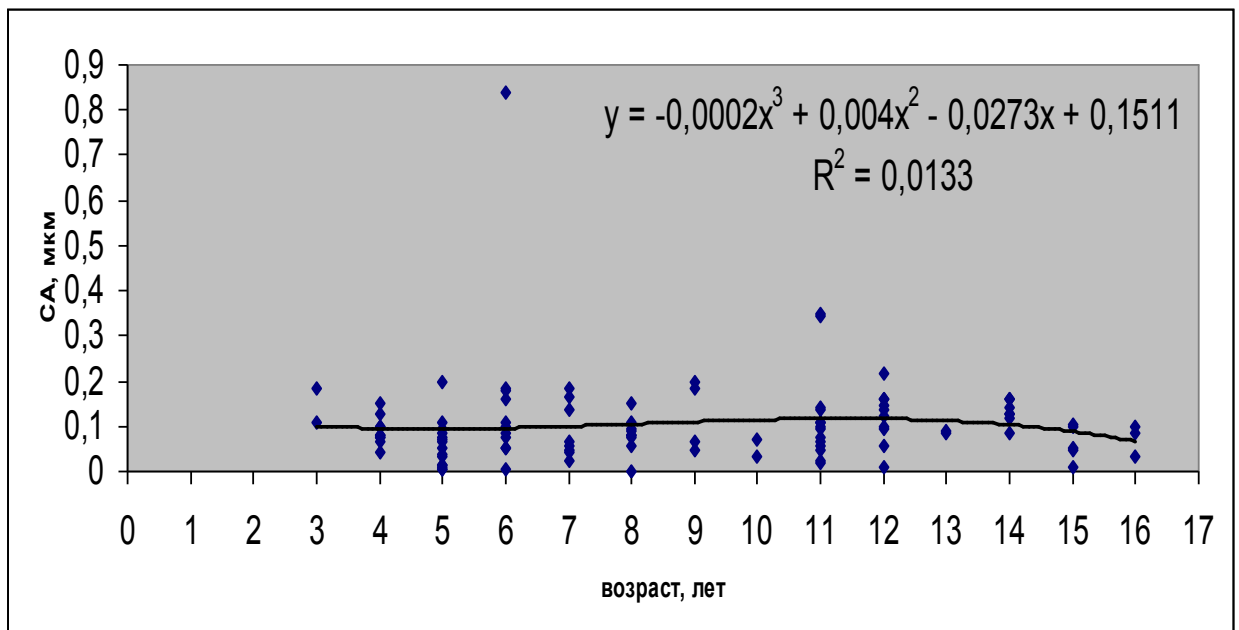


Рисунок 3.9 Зависимость сферической аберрации (мкм) от возраста

Таким образом, у детей 4-6 лет уровень аберраций был достоверно выше, чем в остальных группах. В дальнейшем с возрастом происходит уменьшение аберраций высших порядков, что связано с возрастными изменениями анатомо-оптических структур глаза. Данные аберраций в 7-10-летнем возрасте соответствуют показателям аберраций оптической системы глаза взрослых пациентов с эметропией и могут быть использованы в качестве целевых показателей при коррекции астигматизма у детей и подростков.

Полученные данные позволяют предположить наличие адаптационных механизмов, сопровождающихся физиологическим развитием оптической системы глаза. Детский глаз обладает более крутой роговицей, увеличенное количество АВП, а именно трейфойлы обладают адаптационными свойствами, то есть обеспечивают баланс между зрительными функциями и оптической системой в возрастной период до 6 лет, относительная стабилизация которой происходит в 7-10-летнем возрасте.

Аберрации высших порядков не коррелируют со сферическим компонентом рефракции ($r=0,047$), что свидетельствует о незначительном их влиянии на формирование оптического изображения, в результате достаточно гладкой сферической поверхности роговицы эметропического глаза.

В табл. 3.4 представлены показатели аберраций оптической системы глаза у детей и подростков при эметропии для величины зрачка 6,0 мм в условиях циклоплегии. Всем детям трехкратно был инстиллирован циклоплегический препарат (1% циклопентолат) с целью достижения максимального мидриаза. Различия между группами 4-6 лет и остальными группами статистически достоверно $p<0,05$, данные существенно не отличались в группах 7-10, 11-13, 14-16 лет (различия между группами не достоверны $p>0,05$).

Показатели аберраций оптической системы глаза при эмметропии для
величины зрачка 6 мм ($M \pm \sigma$, мкм) в условиях циклоплегии

| Показатель | 4-6 лет, n=35 | 7-10 лет, n=29 | 11-13 лет, n=30 | 14-17 лет, n=19 | Взрослые, n=30 |
|-------------|------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| RMS Total | 1,07±0,4 | 0,85±0,4* | 0,876±0,28* | 0,95±0,5* | 0,79±0,31* |
| Дефокус | 0,65±0,1 | 0,56±0,5* | 0,596±0,4* | 0,585±0,61* | 0,542±0,31* |
| Астигматизм | 0,41±0,3 | 0,49±0,3* | 0,51±0,3* | 0,54±0,3* | 0,48±0,1* |
| RMS HO | 0,35±0,2 | 0,26±0,06* | 0,26±0,1* | 0,25±0,2* | 0,22±0,1* |
| Кома | 0,27±0,1 | 0,2±0,1* | 0,15±0,1* | 0,16±0,1* | 0,12±0,05* |
| Трефойл | 0,261±0,2 | 0,194±0,11* | 0,17±0,06* | 0,172±0,08* | 0,173±0,11* |
| СА | 0,18±0,1 | 0,1±0,08* | 0,14±0,1* | 0,12±0,1* | 0,11±0,2* |

Примечание: * различие достоверно с $p < 0,05$ между группой детей 4-6 лет и остальными возрастными группами.

Для оценки влияния величины диафрагмы на качество оптической системы нами были проведены исследования АОСГ при диаметре зрачка 4,0 и 6,0 мм. Выявлено достоверное увеличение аберраций при величине 6,0 мм ($p < 0,01$), что свидетельствует о том, что наибольшее свое влияние аберрации оказывают при апертуре диафрагмы 6,0 мм. При величине зрачка 4,0 мм оптическая система близка к идеальной (коэффициенты Цернике близки к нулю) и дает изображение с меньшими погрешностями, чем при диаметре 6,0 мм (табл. 3.5). Наши данные подтверждают исследования Семчишина В. (2003), в работе которого есть данные о том, что 80% нормальных глаз имеют значительные аберрации высших порядков при диаметре зрачка более 3,22 мм. При диаметре зрачка более 5,0 мм доминировали аберрации третьего порядка

и составили 69% от всех аберраций высших порядков, а при увеличении размера зрачка до 8,0 мм увеличивалось влияние аберраций четвертого порядка (до 38%).

Таблица 3.5

Показатели аберраций оптической системы глаза у пациентов при эмметропии для величины зрачка 4 мм ($M \pm \sigma$, мкм).

| Показатель | 4-6 лет, n=35 | 7-10 лет, n=29 | 11-13 лет, n=30 | 14-17 лет, n=19 | Взрослые, n=30 |
|-------------|------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| RMS Total | 0,331±0,11 | 0,322±0,12 | 0,342±0,038 | 0,308±0,12 | 0,309±0,09 |
| дефокус | 0,227±0,22 | 0,207±0,13 | 0,214±0,16 | 0,205±0,14 | 0,04±0,045 |
| Астигматизм | 0,213±0,13 | 0,192±0,1 | 0,246±0,13 | 0,172±0,21 | 0,23±0,103 |
| RMS HO | 0,099±0,04 | 0,313±0,11 | 0,092±0,03 | 0,090±0,03 | 0,093±0,03 |
| Кома | 0,045±0,02 | 0,031± 0,02 | 0,045± 0,02 | 0,044± 0,02 | 0,04±0,017 |
| Трефойл | 0,098±0,08 | 0,082 ±0,05 | 0,065± 0,03 | 0,062±0,03 | 0,079±0,032 |
| СА | 0,029±0,02 | 0,025± 0,16 | 0,027±0,02 | 0,028± 0,02 | 0,017±0,014 |

Все дальнейшие исследования мы проводили при величине зрачка 6,0 мм в мезопических условиях.

Средний диаметр зрачка в фотопических и мезопических условиях составил $3,35 \pm 0,31$ и $6,45 \pm 0,16$ мм соответственно, зависимости от возраста нами отмечено не было ($r = -0,05, P < 0,05$).

Таким образом, исследование динамики аберрометрических показателей в зависимости от возраста в оптической системе глаза у детей и подростков с эмметропией является важным критерием определения физиологических аберраций и может быть использовано при оценке эффективности коррекции различных методов коррекции астигматизма в детском возрасте.

3.2 Аберрации оптической системы глаза у детей и подростков при различных видах астигматизма.

При анализе оптической системы глаза основной группы было выделено две подгруппы в зависимости от преобладания вида клинической рефракции. В первую подгруппу вошли 55 детей и подростков с простым и сложным миопическим астигматизмом (98 глаз), сферический компонент рефракции варьировал от 0 до 10,5 дптр, цилиндрический - от 0,75 до 6,5 дптр. Вторую подгруппу составили 66 детей и подростков (104 глаза) с простым и сложным гиперметропическим астигматизмом, сферический компонент рефракции находился в пределах от 0 до 6,75 дптр, цилиндрический – от 0,75 до 5,75 дптр. Средние показатели анатомо-оптических параметров глаза детей с астигматизмом представлены в табл. 3.6

Таблица 3.6

Анатомо-оптические параметры глаза у детей и подростков с различными видами астигматизма ($M \pm \sigma$)

| Показатель | Миопический астигматизм | Гиперметропический астигматизм |
|-----------------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| Сфера, дптр | -2,77±1,22 | 1,75±1,8 |
| Цилиндр, дптр | 2,01±1,4 | 1,9±1,3 |
| Роговица «сильный» меридиан, дптр | 45,38±2,39 | 44,48±1,8 |
| Роговица «слабый» меридиан, дптр | 42,92±2,23 | 41,69±2,1 |
| ПЗО, мм | 23,8±1,3 | 22,02±1,09 |
| Толщина хрусталика, мм | 3,23±0,14 | 3,6±0,15 |
| Глубина передней камеры, мм | 3,89±0,08 | 3,07±0,07 |

По данным видеокомпьютерной кератотопографии были выявлены основные типы кератотопограмм, характерные для детей и подростков с астигматизмом. «Кругло-овальное плато» (по классификации Vogan S.J. 1990) выявлено в 5,5% случаев, равномерная «вертикальная бабочка» или «песочные часы» в 69%, и «стекающая капля» в 25,5% (рис. 3.10, 3.11).

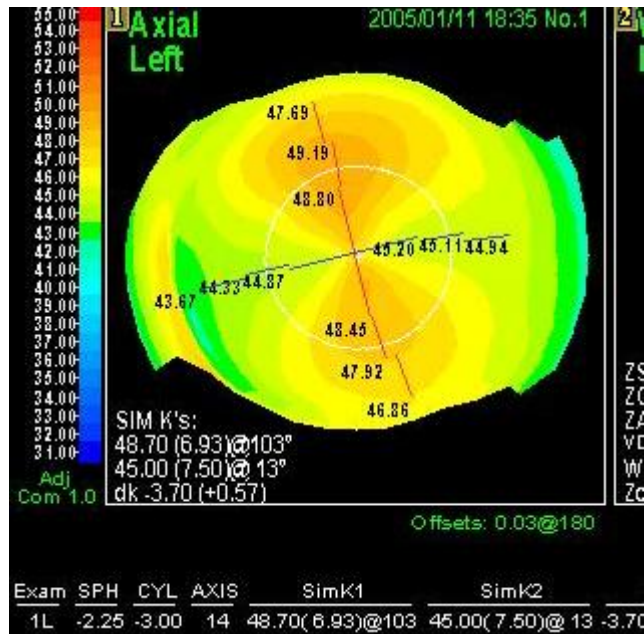


Рисунок 3. 10 Кератотопограмма по типу «равномерно-вертикальная бабочка» или «песочные часы»

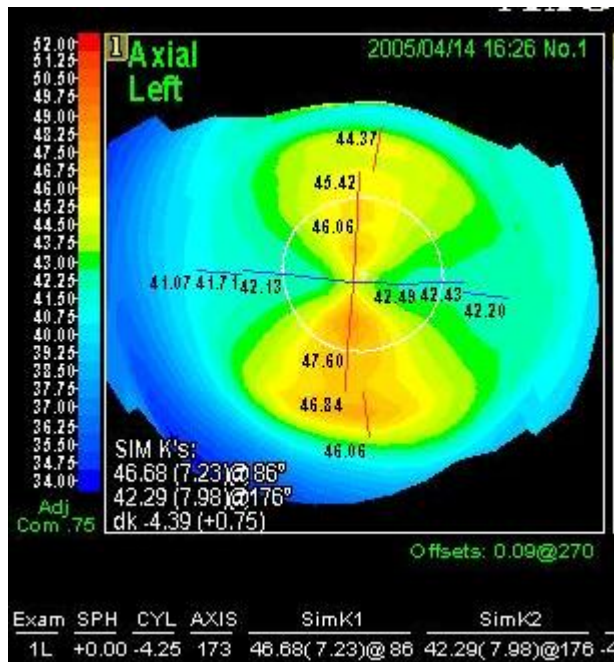


Рисунок 3. 11 Кератотопограмма по типу "стекающая капля"

Аналогично данным корнеальной топографии анализу подверглись aberрометрические карты суммарного волнового фронта. Соответственно виду астигматизма были выделены следующие их типы (рис. 3.12-3.15):

- 1) кругло-овальный тип,
- 2) равномерно-горизонтальный тип,
- 3) равномерно-вертикальный тип,
- 4) X-образный тип.

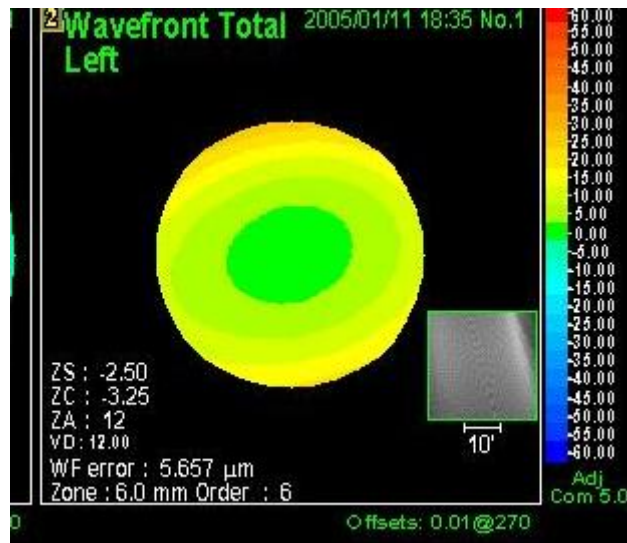


Рисунок 3.2 Aberрограмма "кругло-овальный" тип

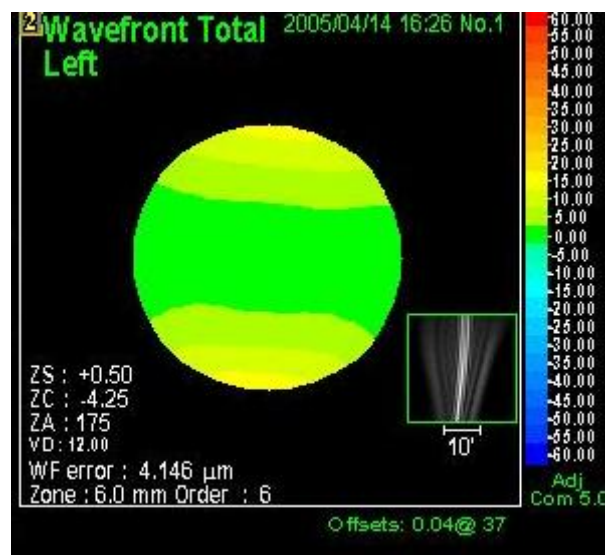


Рисунок 3.3 Aberрограмма – «равномерно горизонтальный» тип

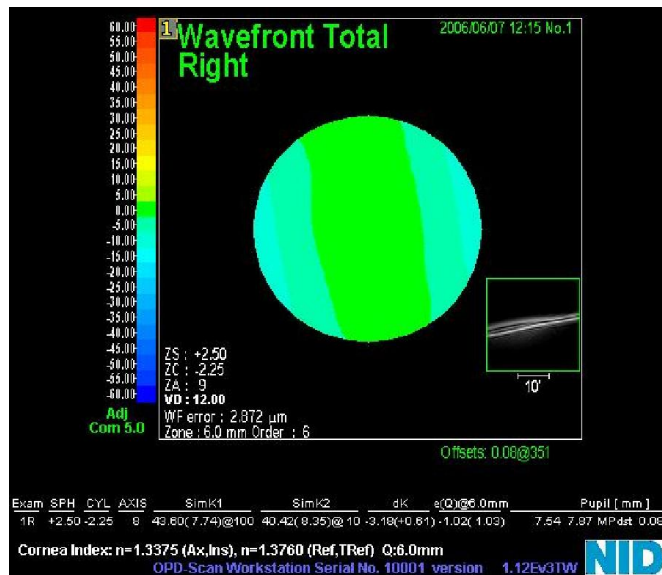


Рисунок 3.14 Аберрограмма – «равномерно вертикальный» тип

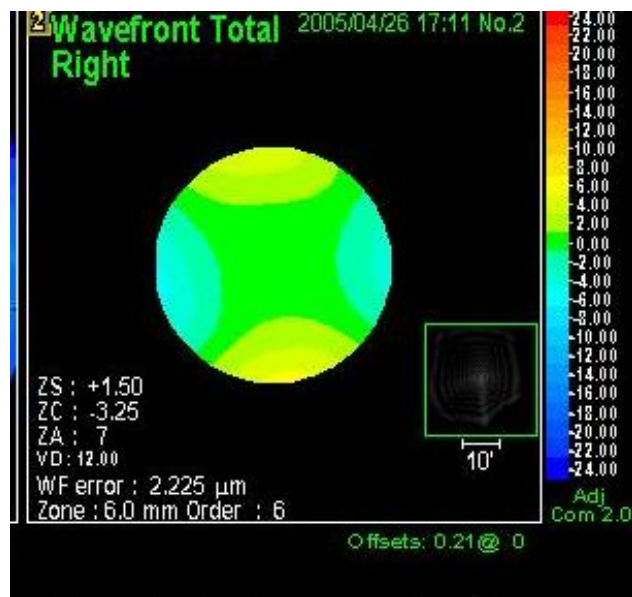


Рисунок 3.4 Аберрограмма «X – образный» тип

В таблице 3.7 представлено распределение типов аберрограмм в зависимости от вида астигматизма.

Таблица 3.7

Распределение типов аберрограмм в зависимости от вида астигматизма.

| Тип аберрограммы | Миопий- ческий астигматизм | | Гиперметропий- ческий астигматизм | | Смешанный астигматизм | Все- го |
|--|----------------------------------|---------------|---|---------------|--------------------------|-------------------|
| | Про- стой | Слож- ный | Про- стой | Слож- ный | | |
| Кругло- овальный тип | 2 (1,0%) | 53 (26,6%) | 2 (1%) | 64 (31,5%) | - | 121 (60%) |
| Равномер но- горизонтальный тип | 28 (13,8%) | 5 (2,5%) | - | - | - | 33 (16,3 %) |
| Равномер но- вертикальный тип | - | - | 27 (13,3%) | 2 (1,0%) | - | 29 (14,3 %) |
| Х-образный тип | - | - | - | 1 (0,5%) | 18 (8,9%) | 19 (9,4%) |
| Всего: | 30 (14,8%) | 58 (29,0%) | 29 (14,3%) | 67 (33,0%) | 18 (8,9%) | 202 (100%) |

Из табл. 3.7 следует, что кругло-овальный тип аберрограмм встречается у детей со сложными видами астигматизма в 60,1% случаев. Необходимо отметить, что чем больше преобладание сферического компонента рефракции, тем более круглый тип аберрограммы выявляется при исследовании. При

сложном миопическом астигматизме имеется тенденция к наклону овала к горизонтальному меридиану, при сложном гиперметропическом астигматизме – к вертикальному меридиану. Равномерно-горизонтальный тип встречается при простом миопическом астигматизме (16,25% случаев), равномерно-вертикальный тип при простом гиперметропическом астигматизме (14,29% случаев), а X-образный тип при смешанном астигматизме (9,36% случаев).

При анализе aberрограмм высших порядков было выявлено большое разнообразие их формы и окраски. Эти данные могут свидетельствовать об индивидуальном распределении aberраций высших порядков в каждом конкретном случае. Однако в большинстве случаев преобладали aberрации типа комы и трейфоила. Сферическая aberрация, имеющая вид кольца или серпа по периферии aberрограммы занимала незначительную площадь.

В табл. 3.8 представлены средние значения aberраций оптической системы глаза в зависимости от вида клинической рефракции. При обследовании детей и подростков со сложным миопическим и сложным гиперметропическим астигматизмом aberрации низших порядков, в которые входят дефокус и астигматизм, были достоверно выше ($P < 0,01$), чем в группе эметропов и соответствовали уровню клинической рефракции. АВП в группах детей с астигматизмом достоверно ($p < 0,05$) были выше АВП в группе детей с эметропией.

Показатели АОСГ у детей и подростков при различных видах астигматизма для величины зрачка 6 мм ($M \pm \sigma$, мкм)

| Показатель | Миопический астигматизм | Гиперметропический астигматизм | Эмметропия |
|-------------|-------------------------|--------------------------------|------------|
| RMS Total | 4,995±1,43** | 4,756±2,19** | 0,946±0,43 |
| Дефокус | 3,100±1,8** | 2,889±2,05** | 0,501±0,36 |
| Астигматизм | 2,810±1,5** | 2,501±1,6** | 0,505±0,5 |
| RMS HO | 0,387±0,17* | 0,384±0,165* | 0,297±0,1 |
| Кома | 0,218±0,165 | 0,190±0,12 | 0,177±0,12 |
| Трефойл | 0,239±0,138* | 0,256±0,14* | 0,211±0,14 |
| СА | 0,097±0,09 | 0,117±0,08 | 0,102±0,1 |

Различия достоверны по сравнению с группой детей и подростков с эмметропией с * $P < 0,05$, с ** $P < 0,01$.

Из табл. 3.8 следует, что у детей и подростков с астигматизмом наблюдается достоверное увеличение как суммарных aberrаций ($p < 0,01$), так и aberrаций высших порядков ($p < 0,05$) по сравнению с группой пациентов с эмметропической рефракцией. Средний уровень RMS HO составляет $0,385 \pm 0,1$ мкм. По нашим данным, у детей и подростков с астигматизмом происходит увеличение aberrаций высших порядков за счет трефойла.

При исследовании группы детей и подростков с миопическим и гиперметропическим астигматизмом была выявлена высокая прямая корреляционная зависимость между сферэквивалентом рефракции и суммарными aberrациями ($r = 0,87$, $p < 0,05$ и $r = 0,506$, $p < 0,05$) в основном за счет aberrаций низшего порядка – дефокуса ($r = 0,7$) и астигматизма ($r = -0,42$). Необходимо отметить, что зависимости имеют разные по направлению знаки. Возможно, это связано с компенсирующим влиянием этих aberrаций друг на друга. Эквивалентная сферическая рефракция (ЭСР) может быть выражена в

диоптриях из дефокуса (коэффициента Цернике второго порядка) при помощи следующей формулы:

$$\text{ЭСР} = (-4\sqrt{3}/r^2)C2, \text{ где}$$

r – радиус зрачка, мм, $C2$ – коэффициент дефокуса Цернике, мкм.

Высокая прямая корреляционная зависимость была получена между цилиндрическим компонентом рефракции и aberrацией второго порядка типа астигматизм ($r=0,77$). Суммарные aberrации высших порядков не коррелировали с цилиндрическим компонентом рефракции ($r=-0,044$). Однако обращает на себя внимание факт слабой положительной корреляции сферической aberrации и слабой отрицательной корреляции комы ($r=0,265$ и $r=-0,235$), что позволяет предположить наличие нейтрализующего влияния этих aberrаций друг на друга.

Нами обнаружена прямая корреляционная зависимость aberrаций высшего порядка от преломляющей силы роговицы ($r=0,48$). Чем больше преломляющая сила роговицы, тем больше значения aberrаций высших порядков. Особый вклад в это увеличение вносит трейфойл, как показатель иррегулярности поверхности роговицы ($r=0,563$) и кома ($r=0,269$), как показатель децентрации и несоответствия центров основных преломляющих поверхностей оптической системы.

Высокая прямая корреляционная зависимость была выявлена между передне-задней оптической осью глаза и суммарными aberrациями ($r=0,6$). Наибольший вклад в это увеличение вносит дефокус ($r=0,75$). Прямая зависимость была выявлена между толщиной хрусталика и aberrациями высшего порядка типа комы ($r=0,56$) и трейфойла ($r=0,29$). В то же время была выявлена обратная зависимость между глубиной передней камеры и этими aberrациями (кома - $r=-0,68$, трейфойл - $r=0,409$). Следовательно, внутренние структуры глаза могут участвовать как в формировании, так и в нейтрализации aberrаций оптической системы глаза. С возрастом происходит уплощение роговицы, увеличение передне-задней оси, уменьшение передней камеры

(наши данные совпадают с данными литературы). Все эти параметры влияют на формирование aberrаций оптической системы глаза. В детском возрасте, оптика глаза устроена таким образом, что при сильной роговице и короткой передне-задней оси aberrации, появляющиеся на периферии роговицы, способствуют формированию четкого изображения (максимальному схождению лучей) в макулярной области сетчатки.

Таким образом, можно сделать предположение о том, что анатомо-оптические параметры глаза индуцируют как aberrации низших порядков, так и высших порядков, и участвуют в формировании адаптационных механизмов оптической системы.

В табл. 3.9 показано влияние циклоплегии на aberrации оптической системы глаза, из которой видно, что наибольшим изменениям подвергаются aberrации низших порядков за счет дефокуса, в то время как aberrации высших порядков по-разному ведут себя в зависимости от циклоплегии.

У детей и подростков с простым и сложным гиперметропическим астигматизмом происходит увеличение АОСГ за счет дефокуса (скрытой гиперметропии) и aberrаций высших порядков, из которых наибольшее значение играет кома, как показатель децентрации внутренних структур оптической системы глаза (во время циклоплегии происходит изменение оптической оси хрусталика).

У детей и подростков с миопическим астигматизмом происходит снижение АОСГ за счет дефокуса, АВП практически не изменяются.

Таблица 3.9

Показатели аберраций оптической системы глаза у детей и подростков с астигматизмом для величины зрачка 6 мм в мезопических условиях и при циклоплегии ($M \pm \sigma$, мкм)

| Аберрации | Гиперметропический астигматизм | | Миопический астигматизм | |
|-------------|--------------------------------|-------------|-------------------------|-------------|
| | Мезопические условия | Циклоплегия | Мезопические условия | Циклоплегия |
| RMS Total | 4,25±0,5* | 5,23± 0,6* | 4,13±0,54* | 4,97±0,45* |
| Дефокус | 2,52±0,3* | 4,41±0,5* | 4,24±0,44* | 4,43±0,34* |
| Астигматизм | 2,99±0,7 | 2,97±0,7 | 2,46±0,75 | 2,39±0,64 |
| RMS HO | 0,39±0,1* | 0,37±0,1 | 0,34±0,2 | 0,40±0,12* |
| Кома | 0,20±0,07* | 0,22±0,1 | 0,20±0,08 | 0,22±0,1* |
| Трефойл | 0,25±0,1 | 0,22±0,1 | 0,21±0,1 | 0,26±0,12 |
| СА | 0,12±0,05 | 0,09±0,08 | 0,08±0,07 | 0,12±0,04 |

Примечание: * достоверность различия между группами с $p < 0,05$

Резюме:

Проанализировано состояние оптической системы глаза у детей и подростков в норме и выявлено уменьшение аберраций с возрастом и стабилизация их к 7-10 годам. Это соответствует процессам рефрактогенеза, когда по мере роста и развития ребенка происходит окончательное формирование передне-задней оси глаза, изменение кривизны хрусталика и роговицы. Увеличение АВП в сроки до 7 лет является приспособительной особенностью детского глаза к короткой передне-задней оси и крутой роговице. Данные аберраций в 7-10-летнем возрасте и старше соответствуют показателям аберраций оптической системы глаза взрослых пациентов с эметропией и могут быть использованы в качестве целевых показателей при коррекции астигматизма в детском возрасте.

При анализе аберраций оптической системы глаза выявлено их увеличение при диаметре зрачка 6 мм по сравнению с аберрациями при диаметре зрачка 4 мм ($p < 0,001$).

У детей и подростков с астигматизмом наблюдается достоверное ($P \leq 0,05$) увеличение как аберраций низших порядков, соответствующих выявленной рефракции, так и высших порядков по сравнению с группой пациентов с эметропической рефракцией. По нашим данным, у детей и подростков с астигматизмом происходит увеличение аберраций высших порядков за счет трейфола.

3.3. Исследование зрительных функций и аккомодации у детей и подростков при эметропии и с различными видами астигматизма.

Исследование зрительных функций, таких как острота зрения, пространственная контрастная чувствительность, и аккомодации играет большое значение при оценке зрительного анализатора у детей и подростков.

В детской практике определение остроты зрения является одним из основных методов исследования. Форменное центральное зрение появляется у ребенка только на 2-3-м месяце жизни. В дальнейшем происходит его постепенное совершенствование – от способности обнаруживать предмет, до способности его различать и распознавать. Возможность различать простейшие конфигурации обеспечивается соответствующим уровнем развития зрительной системы, тогда как распознавание сложных образов связано и интеллектуализацией зрительного процесса и требует обучения [3].

В исследуемых группах определяли остроту зрения с коррекцией. Данные показаны в табл. 3.10, из которой видно, что в группах с различными видами астигматизма имеется снижение максимально корригируемой остроты зрения.

Корригированная острота зрения ($M \pm \sigma$, ед) в группах пациентов с различными видами астигматизма и эмметропией

| Миопический астигматизм (n=98) | Гиперметропический астигматизм (n=104) | Контроль – Эмметропия, (n=113) |
|--------------------------------|--|--------------------------------|
| 0,64±0,12 | 0,61±0,21 | 1,0±0,05 (без коррекции) |

Одной из задач настоящего исследования явилась оценка влияния aberrаций оптической системы глаза на зрительные функции, в том числе и на остроту зрения.

На рис. 3.16 показана зависимость максимально корригированной остроты зрения (КОЗ) от aberrаций высшего порядка (АВП) у детей с миопическим астигматизмом. Для исключения влияния aberrаций низших порядков был выбран параметр максимально корригированная острота зрения.

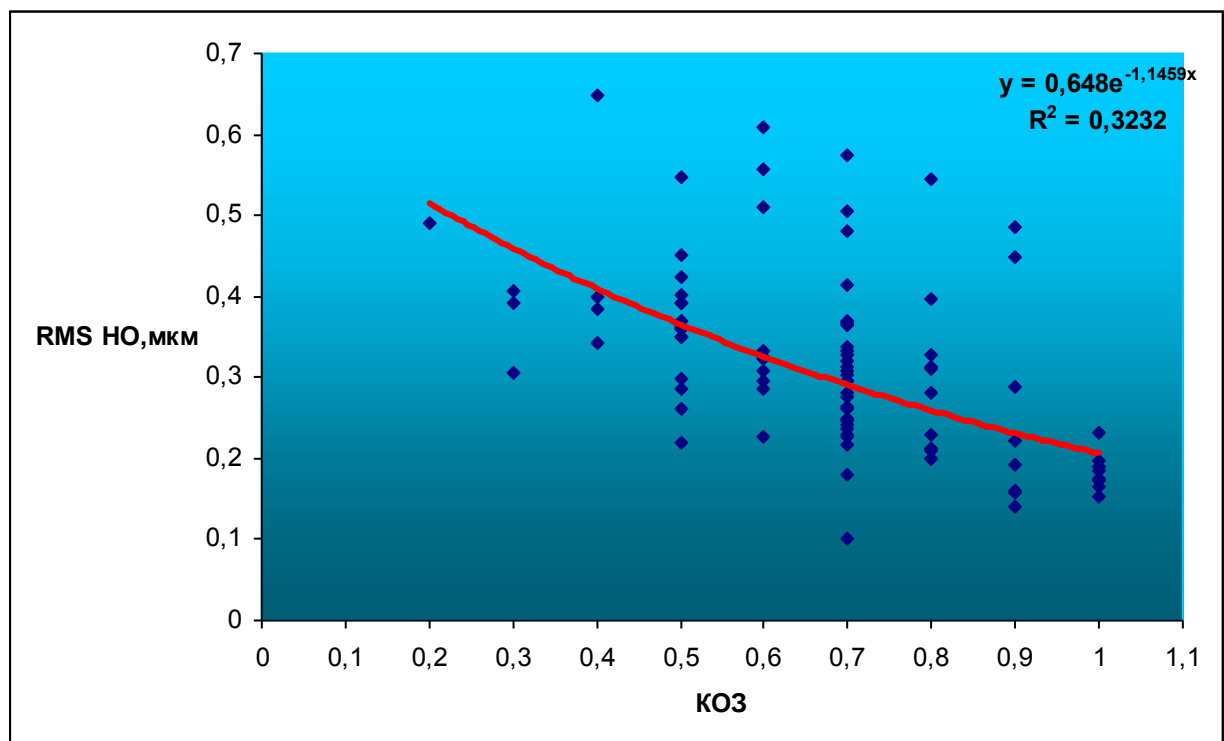


Рисунок 3.16 Зависимость корригированной остроты зрения от aberrаций высших порядков у детей с миопическим астигматизмом

Из рис. 3.16 следует, что изменение КОЗ имеет отрицательную экспоненциальную зависимость от АВП и 32% колебаний остроты зрения связано с АВП ($p < 0,001$). Следовательно, чем выше уровень АВП у детей и подростков с миопическим астигматизмом, тем ниже максимально корригированная острота зрения.

Аналогичная зависимость была обнаружена при исследовании АВП у детей с гиперметропическим астигматизмом (рис. 3.17). Выявлено, что зависимость корригированной остроты зрения от АВП имеет вид экспоненты и 28% колебаний КОЗ связано с АВП. Таким образом, формирование рефракционной амблиопии в некоторых случаях связано с aberrациями высших порядков.

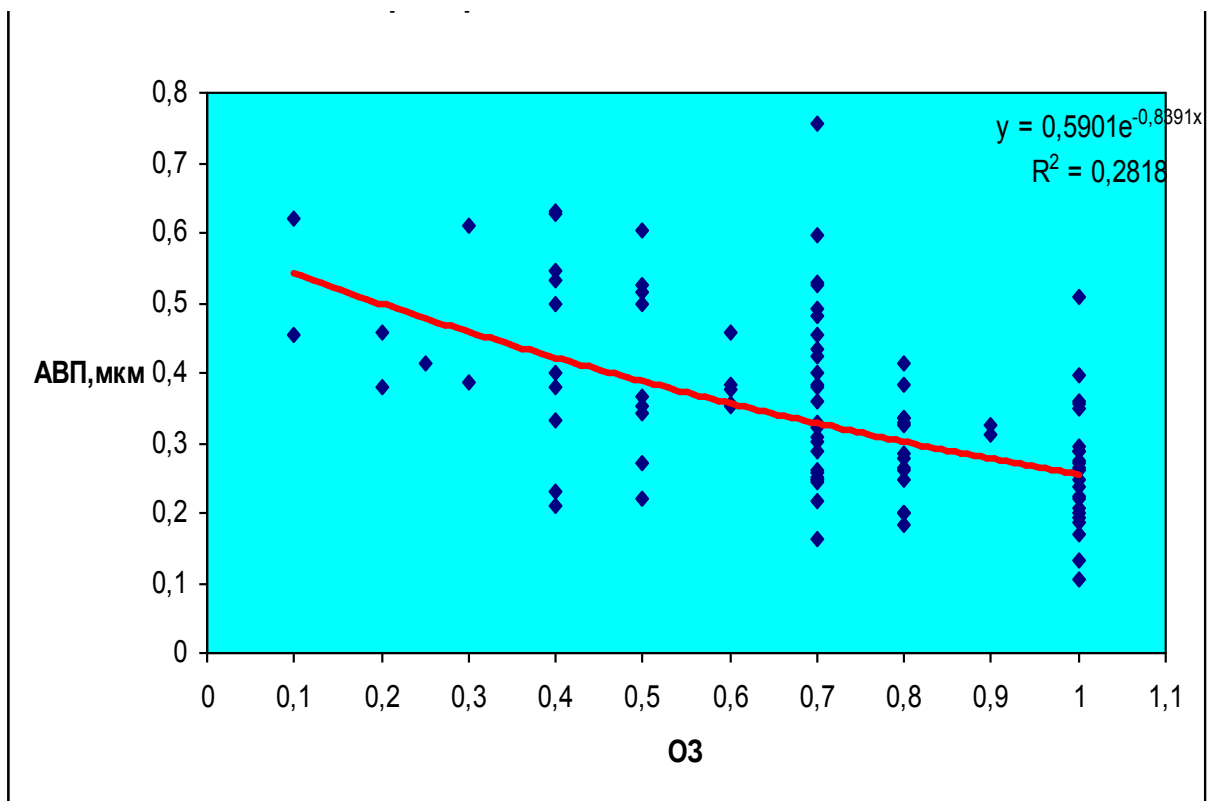


Рисунок 3.17 Зависимость максимально корригированной остроты зрения от aberrаций высших порядков у детей и подростков с гиперметропическим астигматизмом

Средний уровень АВП у детей и подростков с различными видами астигматизма при КОЗ составил $0,278 \pm 0,04$ мкм (разброс значений варьировал от 0,15 до 0,325 мкм). При наличии амблиопии слабой степени, то есть КОЗ 0,7-0,5, средний уровень АВП был $0,312 \pm 0,05$ мкм (от 0,273 до 0,421 мкм). При КОЗ 0,4 и ниже (амблиопия средней и высокой степени) АВП находились в среднем на уровне $0,42 \pm 0,1$ мкм ($0,351 - 0,523$ мкм). Таким образом, можно заключить, что средний уровень АВП выше 0,35 мкм является одним из факторов снижения максимально скорректированной остроты зрения.

Оценка сохранности зрительных функций только по остроте зрения далеко не всегда отражает действительность и является лишь составным элементом пространственно-частотной характеристики зрительной системы [30, 45].

Острота зрения отражает пороги обнаружения наиболее высоких пространственных частот в условиях постоянного и всегда высокого максимального контраста.

Исследования по изучению пространственно-частотной чувствительности на амблиопичных глазах показывают, что пространственные и временные механизмы зрения по-разному изменяются при различных формах и степенях амблиопии [24].

Среди современных методик количественной оценки функционального состояния зрительного анализатора важное место занимает визоконтрастометрия: измерение модуляционных передаточных функций зрения и определение его частотно-контрастных характеристик [30, 36, 80, 101] Этот метод характеризует передачу пространственной интенсивности от глаза к мозгу по всему видимому пространственно-частотному диапазону. Визоконтрастометрия позволяет оценить способность и качество восприятия как деталей объектов, так и их формы в целом, характеризует чувствительность нервных волокон к восприятию поверхностей и полутонов. Что создает условия для более полной оценки пространственного зрения.

В настоящее время предложено большое количество модификаций методики исследования ПКЧ. Принципиально они отличаются по виду (способу формирования) тестовых изображений и способу их предъявления. Используют тестовые изображения двух основных видов – табличные либо генерируемые на экране видеомонитора (персонального компьютера).

Тестовые изображения, представленные в виде таблиц, используется в виде атласов [30] или предъявление их может проводиться с помощью специальных устройств – тестеров. В настоящее время широко распространены тестеры фирм Stereo Optical Co., Inc., США (ОРТЕС 3000), в котором используется широко известная таблица F.A.C.T. и Vector Vision США (CSV-1000E и др.). Важным достоинством демонстрационных таблиц с помощью тестеров является высокая стандартизация условий исследования, прежде всего освещенности, что обеспечивает широкую повторяемость результатов [80].

В настоящей работе исследования ПКЧ проводили на приборе ОРТЕС 3000. Сведения о различиях ПКЧ у детей и подростков с астигматизмом и контрольной группы представлены в таблице 3.11.

Таблица 3.11

Показатели ПКЧ ($M \pm \sigma$, дБ) у детей и подростков основной и контрольной групп

| Пространственная частота изображений (ц/гр) | Основная группа | | Контрольная группа, n=113 |
|---|---------------------|----------------------|---------------------------|
| | 1-я подгруппа, n=98 | 2-я подгруппа, n=104 | |
| 1,5 | 14,37±0,19* | 16,25±0,21* | 18,41±0,25 |
| 3 | 17,10±0,16* | 18,62±0,22* | 20,22±0,25 |
| 6 | 6,81±0,27* | 12,01±0,24* | 19,30±0,23 |
| 12 | 5,75±0,31* | 5,01±0,25* | 15,43±0,25 |
| 18 | 0±0,3* | 1,75±0,21* | 11,50±0,32 |

* $P < 0,05$ по сравнению с группой детей и подростков с эмметропией.

Как видно из табл. 3.11, показатели ПКЧ были достоверно ($p < 0,05$) снижены по сравнению с контрольной группой, выявлено снижение чувствительности по всему пространственно-частотному диапазону и отсутствие чувствительности в области высоких частот в группе детей и подростков с миопическим астигматизмом.

В детской офтальмологии исследование аккомодационной способности глаза может быть использовано с целью решения тактических и стратегических задач коррекции зрения при аметропиях [1]. Исследование аккомодации обычно удается провести у детей 6-7-летнего возраста и старше.

По данным литературы, аккомодация увеличивается к 10-летнему возрасту и в среднем составляет 10 дптр [2]. Объем абсолютной аккомодации (ОАА) в норме должен быть не меньше нижней границы нормы, которая для детей в возрасте 6-7 лет составляет 7,0 дптр, 8-10 лет – 8,0 дптр, 11 лет и старше – 10,0 дптр [3]. При обследовании данной функции в контрольной группе детей с эметропией, нами были получены данные, соответствующие литературным (табл. 3.12).

Таблица 3.12

ОАА ($M \pm \sigma$, дптр) в зависимости от возраста в группе пациентов с эметропией, миопическим, гиперметропическим астигматизмом

| Рефракция | Возраст, лет | | | | |
|---------------|----------------|----------|-----------|------------|---------------|
| | 4-6 | 7-10 | 11-13 | 14-16 | Старше 17 лет |
| Эметропия | Не определялся | 9,0±0,15 | 10,5±0,12 | 10,25±0,13 | 9,75±0,1 |
| 1-я подгруппа | Не определялся | 9,6±2,1 | 6,4±1,2 | 6,9±1,5 | 6,2 ±1,3 |
| 2-я подгруппа | Не определялся | 11,0±1,4 | 11,5±1,3 | 8,5±1,5 | 7,1±1,1 |

Как видно из табл. 3.12. при исследовании объема аккомодации у пациентов с астигматизмом были выявлены следующие закономерности: снижение объема абсолютной аккомодации у детей с астигматизмом по сравнению с контрольной группой достоверно ($p < 0,05$).

Проанализирована зависимость объема абсолютной аккомодации у детей и подростков с миопическим астигматизмом от aberrаций высших порядков и выявлено, что 7% колебаний ОАА связано с aberrациями высших порядков (рис. 3.18). Зависимость имеет полиномиальный нисходящий характер, что может быть объяснено тем, что с уменьшением aberrаций аккомодация находится в лучших условиях, а с увеличением АВП проявляется слабость аккомодации, что характерно для глаз с миопической рефракцией.

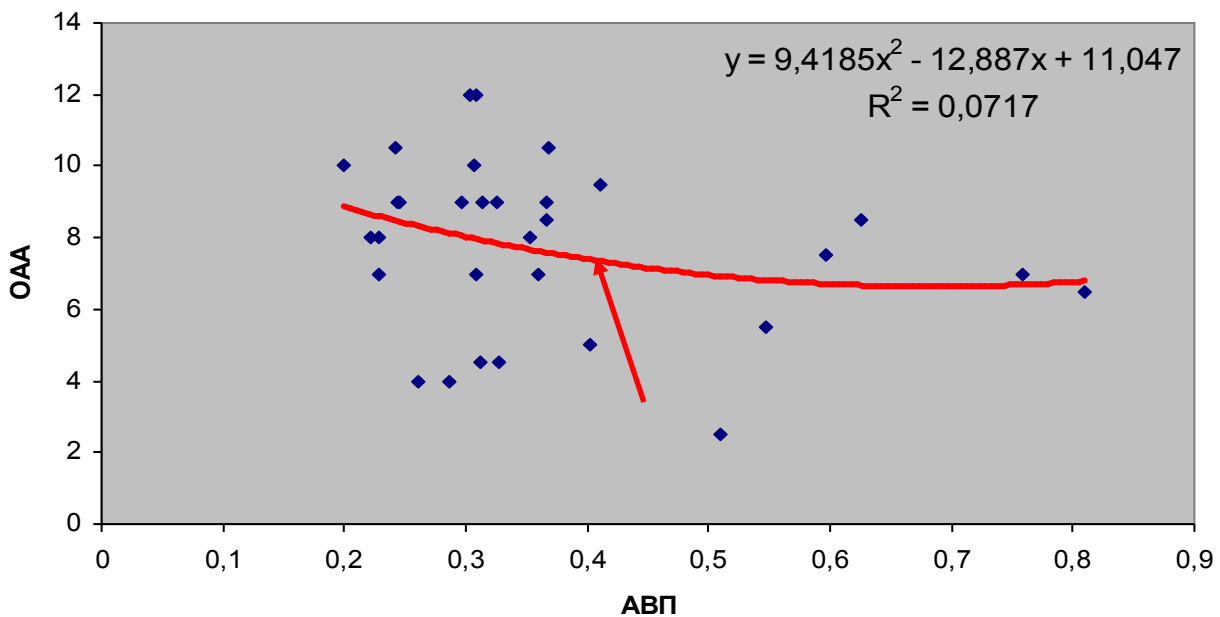


Рисунок 3.18 Зависимость ОАА от АВП у детей и подростков с миопическим астигматизмом

На рис. 3.19 показано, что 12% колебаний объема абсолютной аккомодации у детей и подростков с гиперметропическим астигматизмом связано с АВП и имеют полиномиальную зависимость. Возможно, это связано с более сильным напряжением аккомодации гиперметропического

глаза. Зависимость имеет полиномиальный восходящий характер, то есть с увеличением aberrаций увеличивается тонус аккомодации, что характерно для глаз с гиперметропической рефракцией. Однако при увеличении АВП выше 0,45 мкм (на рисунке указано стрелкой), происходит снижение объема относительной аккомодации.

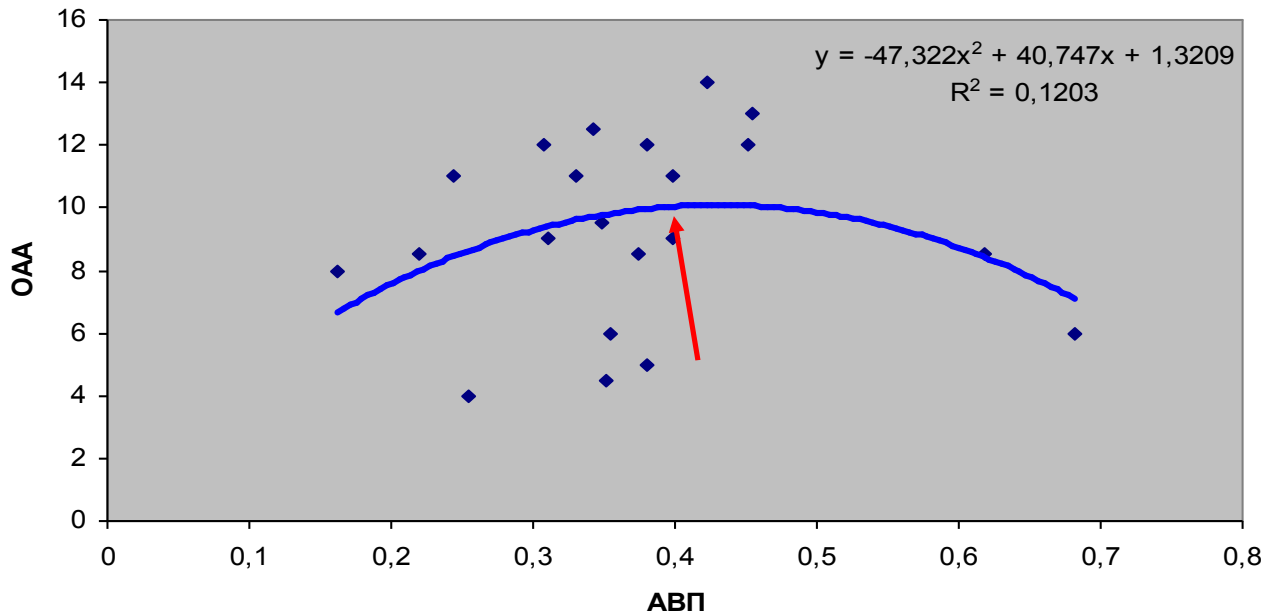


Рисунок 3.19 Зависимость объема абсолютной аккомодации от aberrаций высших порядков у детей и подростков с гиперметропическим астигматизмом

Таким образом, при обследовании зрительных функций и аккомодации у детей и подростков было выявлено достоверное снижение максимально корригируемой остроты зрения, объема абсолютной аккомодации и пространственной контрастной чувствительности у детей и подростков с астигматизмом по сравнению с контрольной группой. Настоящее исследование показало, что острота зрения находится в экспоненциальной зависимости от АВП. У детей с миопическим астигматизмом 32% колебаний остроты зрения связано с АВП и 28% колебаний у детей и подростков с гиперметропическим астигматизмом. Изменения объема аккомодации в

меньшей степени зависят от АВП и составляют 7 и 12% у детей и подростков с миопическим и гиперметропическим астигматизмом.

Глава 4. Контактная коррекция детей с астигматизмом

При коррекции очковыми линзами, особенно высоких диоптрий, световые лучи, расположенные на оптической оси, при преломлении не собираются в одну точку с лучами, проходящими через периферию линзы, а образуют круг светорассеяния, в результате чего происходит снижение максимально скорректированной остроты зрения, появляются искажения предметов, возникают астигматические жалобы. Известно, что при астигматизме, как наиболее трудно корректируемой аномалии рефракции, возникают условия для возникновения аберраций высших порядков, что нередко приводит к значительной потере остроты зрения и развитию рефракционной амблиопии в детском возрасте.

Опыт применения мягких торических контактных линз последнего поколения показал, что они при правильном подборе и хорошей посадке оптический центр линзы практически совпадает с оптическим центром глаза, поэтому контактные линзы дают возможность получить максимально скорректированную остроту зрения, улучшается пространственная контрастная чувствительность [28, 48, 69, 70, 100]. В связи с этим представляет большой интерес изучение состояния волнового фронта у детей и подростков в результате коррекции астигматизма торическими контактными линзами для возможности прогнозирования зрительного результата.

Следующим этапом работы явилась оценка результатов коррекции различных видов астигматизма мягкими торическими контактными линзами.

Из основной группы с астигматизмом были выделены дети и подростки 34 человека (49 глаз), корректируемые мягкими торическими контактными линзами. С простым и сложным миопическим астигматизмом было 20 человек (32 глаза) – 3-я подгруппа. Сферический компонент рефракции варьировал в

пределах от 0 до -8,25 дптр ($M \pm \sigma$ -2,07 \pm 2,27 дптр), миопический цилиндрический компонент – от 1 до 5,25 дптр (в среднем 2,89 \pm 1,4 дптр), сферозэквивалент рефракции в среднем составил -2,14 \pm 2,3 дптр. В 4-ю подгруппу вошли дети и подростки (14 человек, 17 глаз) с простым и сложным гиперметропическим астигматизмом. Сферический компонент рефракции варьировал в пределах от 0 до 6,25 дптр (2,16 \pm 1,25 дптр), гиперметропический цилиндрический компонент – от 1,5 до 4,5 (в среднем 2,7 \pm 1,2 дптр), сферозэквивалент рефракции – 2,2 \pm 1,23 дптр.

Показанием к контактной коррекции были непереносимость полной очковой коррекции и астигматический синдром.

Для оптической коррекции использовались мягкие торические контактные линзы (МТКЛ) плановой замены «SofLens toric» компании «Bausch & Lomb», с влагосодержанием 66%, Dk 32, в дневном режиме ношения. Все пациенты легко научились надевать и снимать контактные линзы. Необходимо отметить, что осуществление подбора и обучение пациентов дошкольного и младшего школьного возраста по уходу за контактными линзами по возможности происходило при активном участии родителей. Подбор МТКЛ осуществлялся очень тщательно. Производился осмотр переднего отрезка глазного яблока на щелевой лампе: оценивалось состояние слезной пленки, конъюнктивы, роговицы. В каждом конкретном случае учитывался возраст ребенка, его интеллектуальные способности. Срок наблюдения за пациентами составил в среднем 2 года.

Средние значения остаточной рефракции сферического компонента при авторефрактометрии в группе детей и подростков с миопическим астигматизмом в торических контактных линзах составили -0,15 \pm 0,63 дптр, значения цилиндрического компонента – 1,19 \pm 0,9 дптр. Средние значения сферического компонента рефракции в группе детей и подростков с гиперметропическим астигматизмом в торических контактных линзах равнялись 1,15 \pm 0,9 дптр, значения цилиндрического компонента –

1,75 ±0,95дптр. Таким образом, величина остаточного астигматизма при использовании МТКЛ уменьшилась в 2,5 раза в группе детей и подростков с миопическим астигматизмом и в 2,6 раза в группе с гиперметропическим астигматизмом.

В табл. 4.1 отражена динамика изменения остаточной рефракции (по сферэквиваленту) в контактных линзах, из которой следует, что в группе детей и подростков с миопическим астигматизмом произошло уменьшение сферэквивалента рефракции в 2,1 раза. Среднее значение которого составило 0,68±0,63. В группе детей и подростков с гиперметропическим астигматизмом рефракция по сферэквиваленту уменьшилась в 1,6 раза и равнялась 1,25±0,71. Достоверные и стабильные изменения сферэквивалента рефракции в МТКЛ были получены к сроку коррекции 1-3 месяца, в течение которого, на наш взгляд, происходит адаптация зрительного анализатора к контактным линзам.

Таблица 4.1

Сферэквивалент до и в различные сроки коррекции МТКЛ (M±σ, дптр)

| Подгруппы | Без МТКЛ | В МТКЛ, срок коррекции | | | |
|----------------|-----------------|------------------------|----------------|-----------|------------|
| | | 1 мес. | 3 мес. | 6 мес. | 12 мес. |
| 3-я (n= 32) | -2,14±2,3 ** | -0,68±0,63 * | -0,58±0,2 * | -0,55±0,3 | -0,60±0,21 |
| 4-я (n=17) | 2,2±1,23 ** | 1,25±0,71 * | 1,0±0,45 * | 0,88±0,35 | 0,85±0,3 |

*p<0,05 различие достоверно в сроки 1-3 месяца,

**P<0,01 различие достоверно в группах до коррекции и в МТКЛ.

4.1 Волновой фронт при коррекции различных видов астигматизма торическими контактными линзами у детей подростков

При исследовании aberrаций оптической системы средний уровень RMS Total в 3-й подгруппе варьировал от 1,055 до 10,133 мкм, RMS HO – от 0,199 до 0,935 мкм (табл. 4.3, 4.4) В 4-й подгруппе детей и подростков уровень RMS

Total находился в пределах от 1,18 до 7,746 мкм, RMS HO – от 0,219 до 0,618 мкм.

С помощью торических контактных линз мы добились снижения уровня суммарных аберраций до $1,88 \pm 0,62$ мкм в подгруппе детей и подростков с миопическим астигматизмом и до $1,9 \pm 1,15$ мкм в подгруппе детей и подростков с гиперметропическим астигматизмом ($p < 0,05$). Это соответствовало уровню остаточной рефракции в МТКЛ и приближалось к уровню суммарных аберраций контрольной группы. Таблица 4.2 отражает динамику изменения RMS Total до применения линз и в различные сроки коррекции МТКЛ.

Таблица 4.2

Средний уровень RMS Total у пациентов до и в различные сроки коррекции МТКЛ (M \pm σ , мкм)

| Подгруппы | До коррекции | Срок после коррекции | | | |
|----------------|-------------------|----------------------|------------------|-----------------|-----------------|
| | | 1 мес. | 3 мес. | 6 мес. | 12 мес. |
| 1-я (n= 32) | 4,99 \pm 2,09** | 1,88 \pm 0,62* | 1,564 \pm 0,5* | 1,245 \pm 0,4 | 1,456 \pm 0,2 |
| 2-я (n=17) | 4,14 \pm 1,81** | 1,9 \pm 1,5* | 1,7 \pm 0,84* | 1,75 \pm 0,65 | 1,64 \pm 0,75 |

* $p < 0,05$ различие достоверно в сроки 1-3 месяца

** $p < 0,01$ различие достоверно в группах до коррекции и в МТКЛ.

Наши исследования показали, что в результате применения контактных линз аберрации высших порядков незначительно возросли по сравнению с исходным уровнем в 3-й и 4-й подгруппах детей и подростков с $0,39 \pm 0,165$ мкм до $0,52 \pm 0,16$ мкм и с $0,35 \pm 0,12$ до $0,50 \pm 0,22$ мкм соответственно ($p < 0,01$). Возможно, это связано с рядом факторов, таких как нестабильность положения контактной линзы на поверхности роговицы, конструкционные особенности мягкой торической контактной линзы. Таблица 4.3 отражает динамику изменения аберраций высших порядков в различные сроки коррекции. Обращает на себя внимание факт стабилизации АВП в сроки 1-3

месяца. Возможно, это связано с адаптацией зрительной системы к новым условиям.

Таблица 4.3

Средний уровень RMS НО у пациентов до и в различные сроки коррекции МТКЛ (M±σ, мкм)

| Группы пациентов | До коррекции | Срок коррекции | | | |
|------------------|--------------|----------------|------------|----------|----------|
| | | 1 мес. | 3 мес. | 6 мес. | 12 мес. |
| 3-я (n= 32) | 0,39±0,165** | 0,52±0,16* | 0,51±0,12* | 0,51±0,2 | 0,51±0,2 |
| 4-я (n=17) | 0,35±0,09** | 0,50±0,17* | 0,51±0,08* | 0,49±0,2 | 0,46±0,1 |

*p<0,05 различие достоверно в сроки 1-3 месяца,

**p<0,01 различие достоверно в группах до коррекции и в МТКЛ.

При анализе увеличения аберраций высших порядков в результате коррекции торическими контактными линзами было выявлено достоверное увеличение комы с $0,2\pm 0,12$ мкм до $0,327\pm 0,13$ мкм у детей и подростков с миопическим астигматизмом ($p<0,01$) и с $0,13\pm 0,05$ мкм до $0,27\pm 0,08$ мкм ($p<0,01$) у детей и подростков с гиперметропическим астигматизмом. В МТКЛ произошло достоверное увеличение трейфола с $0,214\pm 0,1$ до $0,306\pm 0,12$ у детей с миопическим астигматизмом ($p<0,01$) и с $0,248\pm 0,1$ до $0,371\pm 0,07$ мкм у детей и гиперметропическим астигматизмом ($p<0,01$). Динамика сферической аберрации была несущественной и недостоверной ($p>0,1$). Увеличение комы и трейфола может быть связано с нестабильностью положения контактной линзы на глазу и конструкционными особенностями мягкой торической контактной линзы, что является приемлемым в контактной коррекции.

4.2 Состояние зрительных функций и аккомодации при коррекции различных видов астигматизма торическими контактными линзами у детей и подростков

В 3-й подгруппе детей и подростков максимально корригированная острота зрения (КОЗ) до применения МТКЛ была $0,64 \pm 0,12$, в мягких торических контактных линзах она составила $0,68 \pm 0,14$, то есть острота зрения в МТКЛ практически соответствовала максимально корригированной остроте зрения коррекции до применения контактных линз (различия между средним значениями не достоверны, $p > 0,05$). В 4-й подгруппе КОЗ в контактных линзах составила в среднем $0,65 \pm 0,2$ и была выше на $0,1$ максимально корригированной остроты зрения очковыми линзами до коррекции ($0,51 \pm 0,21$, $p < 0,05$).

Таблица 4.4

Динамика корригированной остроты зрения до и в различные сроки коррекции МТКЛ

| Группы пациентов | Максимальная коррекция | Срок коррекции МТКЛ | | | |
|------------------|------------------------|---------------------|-----------------|-------------------|------------------|
| | | 1 мес. | 3 мес. | 6 мес. | 12 мес. |
| 3-я (n= 32) | $0,64 \pm 0,12$ | $0,66 \pm 0,14$ | $0,65 \pm 0,1$ | $0,67 \pm 0,11$ | $0,68 \pm 0,14$ |
| 4-я (n=17) | $0,51 \pm 0,21$ | $0,55 \pm 0,2$ | $0,57 \pm 0,18$ | $0,65 \pm 0,15^*$ | $0,65 \pm 0,2^*$ |

* $p < 0,05$ различие достоверно до коррекции и в МТКЛ к 6-12 месяцам.

При обследовании тонких зрительных функций до коррекции МТКЛ пространственная контрастная чувствительность была снижена на средних и высоких частотах.

Как видно из рис. 4.1, у детей и подростков с астигматизмом ПКЧ снижена на всех частотах по сравнению с группой пациентов с эметропией. Если среднее значение контрастной чувствительности в области низких частот было снижено на 2-3 дБ, то в области высоких частот – на 5-8 дБ. Этот факт указывает на то, что у детей и подростков с астигматизмом страдает функция различения более мелких предметов по сравнению с ориентировкой в пространстве [101].

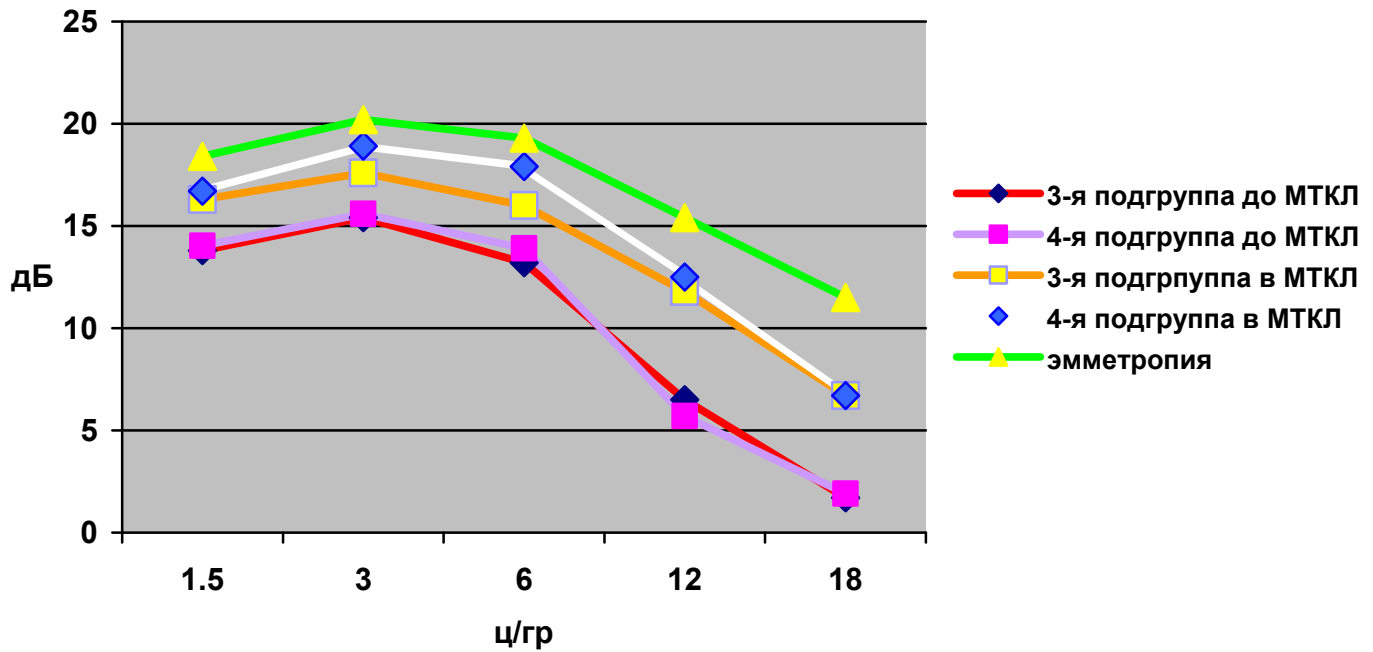


Рисунок 4.1 Пространственная контрастная чувствительность до и в МТКЛ у детей и подростков с астигматизмом

В торических контактных линзах средняя пространственная контрастная чувствительность повысилась с $7,65 \pm 0,18$ до $12,92 \pm 2,82$ дБ и с $10,62 \pm 0,23$ до $13,2 \pm 1,5$ дБ соответственно в группах детей и подростков с миопическим и гиперметропическим астигматизмом, что приближается к значениям в группе детей и подростков с эмметропией. В таблице 4.5 представлены средние величины пространственной контрастной чувствительности для 5 пространственных частот (1.5-18 ц/гр).

Таблица 4.5

Средние показатели ПКЧ ($M \pm \sigma$, дБ) у детей и подростков в норме и у детей, корригированных МТКЛ

| Пространственная частота изображений (ц/гр) | С максимальной коррекцией | | С МТКЛ | | Эмметропия (контроль) |
|---|---------------------------|----------------|----------------|----------------|-----------------------|
| | 3-я под-группа | 4-я под-группа | 3-я под-группа | 4-я под-группа | |
| 1,5 | 13,8±1,8 | 14,03±2,5 | 16,3±2,4* | 16,7±2,8* | 18,4±1,6** |
| 3 | 15,4±2,3 | 15,6±2,7 | 17,6±2,2* | 18,9±4,1* | 20,2±2,5** |
| 6 | 13,2±2,6 | 13,9±4,3 | 16±2,7* | 17,9±4,4* | 19,3±2,3** |
| 12 | 6,5±5,5 | 5,7±5,1 | 11,8±4,5* | 12,5±3,5* | 15,4±2,5** |
| 18 | 1,7±2,8 | 1,9±3,1 | 6,7±4,3* | 6,7±3,8* | 11,5±3,2** |

Примечание: *отличие средних показателей ПКЧ в условиях максимальной коррекции от средних показателей ПКЧ в МТКЛ достоверно с $p < 0,05$, **отличие средних показателей ПКЧ в контроле от 3-й и 4-й подгрупп с максимальной коррекцией достоверно с $p < 0,01$.

В детской офтальмологической практике исследование аккомодации имеет большое значение при решении вопроса о рациональной коррекции аметропий. По данным Аветисова Э.С. (1986) объем абсолютной аккомодации в норме в среднем должен быть не меньше 8,0 - 10,0 дптр [2]. Мы получили аналогичные данные при исследовании объема абсолютной аккомодации у здоровых детей и подростков (10,25±0,5 дптр). При ношении МТКЛ было обнаружено повышение объема абсолютной аккомодации у детей и подростков с миопическим астигматизмом с 7,55±2,45 до 10,02±1,97 дптр и в группе с гиперметропическим астигматизмом с 6,9±2,78 до 9,66±1,58 дптр соответственно. Необходимо отметить, что при использовании МТКЛ пациенты практически перестали предъявлять астенопические жалобы. Возможно, увеличение аккомодационной способности глаз позволило скомпенсировать увеличение аберраций высших порядков.

Резюме:

Применение мягких торических контактных линз у детей и подростков с различными видами астигматизма показало значительное улучшение оптических характеристик глаза. При этом снижение суммарных аберраций с $4,99 \pm 2,09$ до $1,88 \pm 0,62$ при миопическом астигматизме и с $4,14 \pm 1,81$ до $1,9 \pm 1,15$ при гиперметропическом астигматизме позволило увеличить не только остроту зрения до $0,68 \pm 0,14$ и $0,65 \pm 0,2$ в 3-й и 4-й подгруппах, пространственную контрастную чувствительность до $12,92 \pm 2,82$ и до $13,2 \pm 1,5$ дБ, но и аккомодационную функцию глаза при миопическом до $10,02 \pm 1,97$ и при гиперметропическом астигматизме до $9,66 \pm 1,58$ дптр. Это в свою очередь значительно повысило качество зрения у детей и подростков с астигматизмом в период максимальной нагрузки на орган зрения и практически нивелировало астенопические жалобы. Выявленное нами незначительное увеличение аберраций высших порядков до $0,52 \pm 0,16$ в группе детей с миопическим астигматизмом и до $0,50 \pm 0,22$ мкм в группе детей с гиперметропическим астигматизмом, полученное в результате коррекции астигматизма МТКЛ, существенно не оказало влияния на зрительные функции.

Клинический пример.

Пациентка Ж., 12 лет. Диагноз: OU сложный миопический астигматизм, миопия высокой степени, амблиопия слабой степени. Девочка наблюдается в «Детском Центре» ФГУ МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова в течение 8 лет.

Девочка предъявляла жалобы на чувство дискомфорта и усталость глаз в очках.

В 2005 г. Vis OD sph -6,0 cyl -2,5 Ax 5 = 0,6

Vis OS sph -6,5 cyl -2,5 Ax 0 = 0,6

Vis в очках - 0,5

Динамическая авторефрактометрия:

OD sph -5,0 cyl -3,5 Ax 4°

OS sph -6,25 cyl -3.5 Ax 179°

Статическая авторефрактометрия:

OD sph -5,0 cyl -3,5 Ax1°

OS sph -6,00cyl -3,25Ax 172°

Офтальмометрия:

OD 4°- 39,75 дптр OS 0°- 39,75 дптр

94° - 42,25 дптр 90° - 42,55 дптр

Эхобиометрия:

OD 27,11 мм OS 27,03 мм

При обследовании тонких зрительных функций пространственная контрастная чувствительность снижена на средних и высоких частотах, объем абсолютной аккомодации правого глаза составил 6,5 дптр, левого – 6,0 дптр.

При осмотре глаз на щелевой лампе OU спокойны, среды прозрачны. При офтальмоскопии диск зрительного нерва бледно-розовый, границы четкие, в макулярной области имеется небольшое перераспределение пигмента, на периферии разрывов и очагов дистрофических изменений сетчатки нет.

Пациентке были назначены мягкие торические контактные линзы.

Vis в контактных линзах OU = 0,7±н/к

Через 1 месяц после адаптации к МТКЛ объем абсолютной аккомодации составил 8,5 для обоих глаз, контрастная чувствительность повысилась на 4 дБ на высоких частотах.

На рис. 4.2 и 4.3 показано изменение кератотопограммы и волнового фронта в результате коррекции торическими контактными линзами, где показано снижение суммарных аберраций глаза (RMS Total до коррекции – 9,072мкм, после коррекции – 1,823 мкм) и имеется тенденцию к равномерному распределению по площади оптической зоны. В результате коррекции происходит увеличение аберраций высших порядков с 0,34 до 0,59 мкм. Аберрации высших порядков в центральной зоне имеют более равномерный вид, однако ближе к периферии их количество увеличивается. На кератотопограмме отчетливо видно выравнивание центральной оптической поверхности роговицы и уменьшение астигматизма.

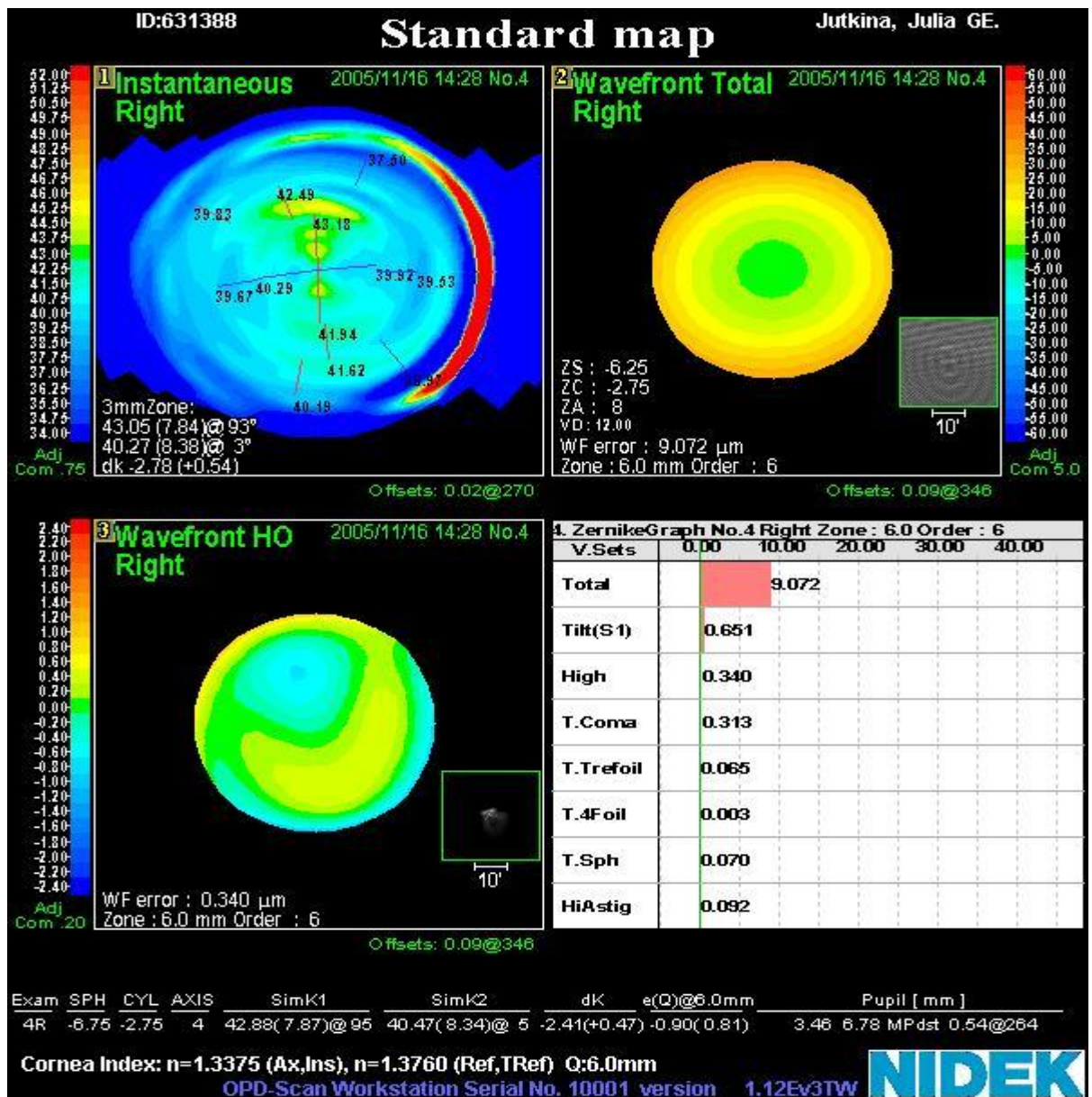


Рисунок 4.2 Кератотопографическая карта и карта волнового фронта пациентки Ж. 12 лет со сложным миопическим астигматизмом без коррекции

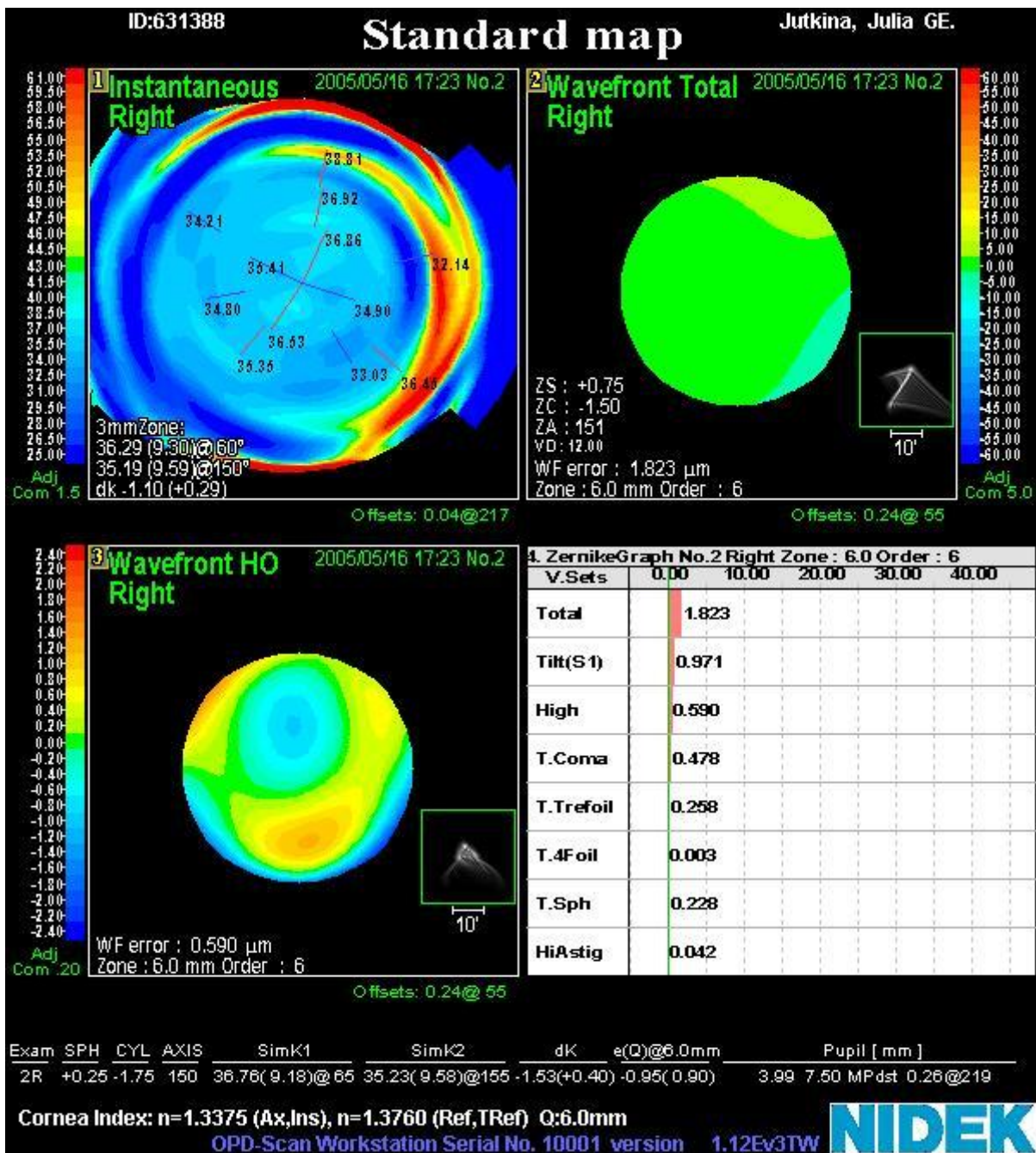


Рисунок 4.3 Кератотопографическая карта и карта волнового фронта пац-ки Ж. 12 лет со сложным миопическим астигматизмом в условиях контактной коррекции

Положение торической контактной линзы было оценено с помощью оптического томографа Visante OCT фирма «ZEISS». Как видно из рис. 4.4, контактная линза полностью покрывает роговицу, толщина линзы в центре составляет в среднем 310 мкм, под контактной линзой визуализируется слой слезной пленки.

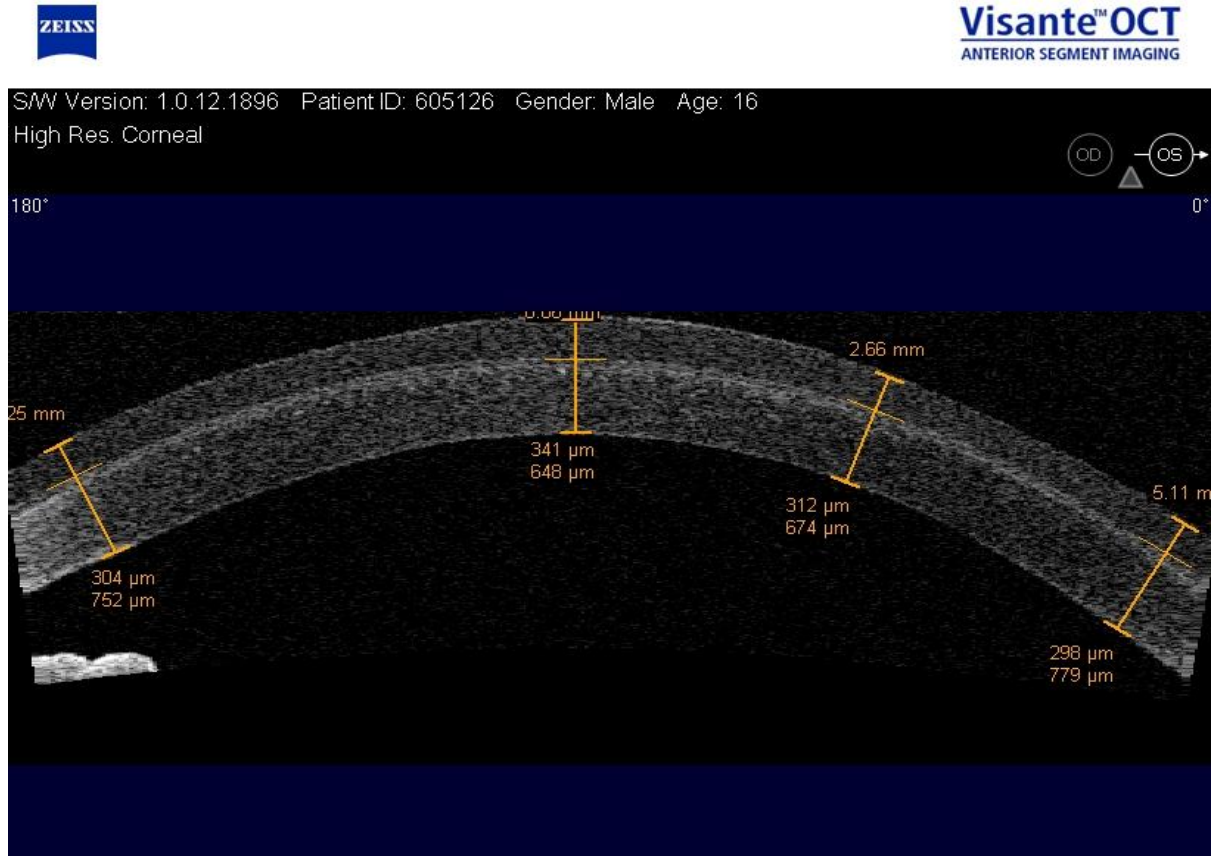


Рисунок 4.4 Положение торической контактной линзы на передней поверхности роговицы

На рисунке 4.5 показано положение контактной линзы на 6 часах (вертикальный срез), стрелками указано утолщение линзы, которое по всей вероятности, может быть одной из причин увеличения АВП при диаметре зрачка более 6 мм.

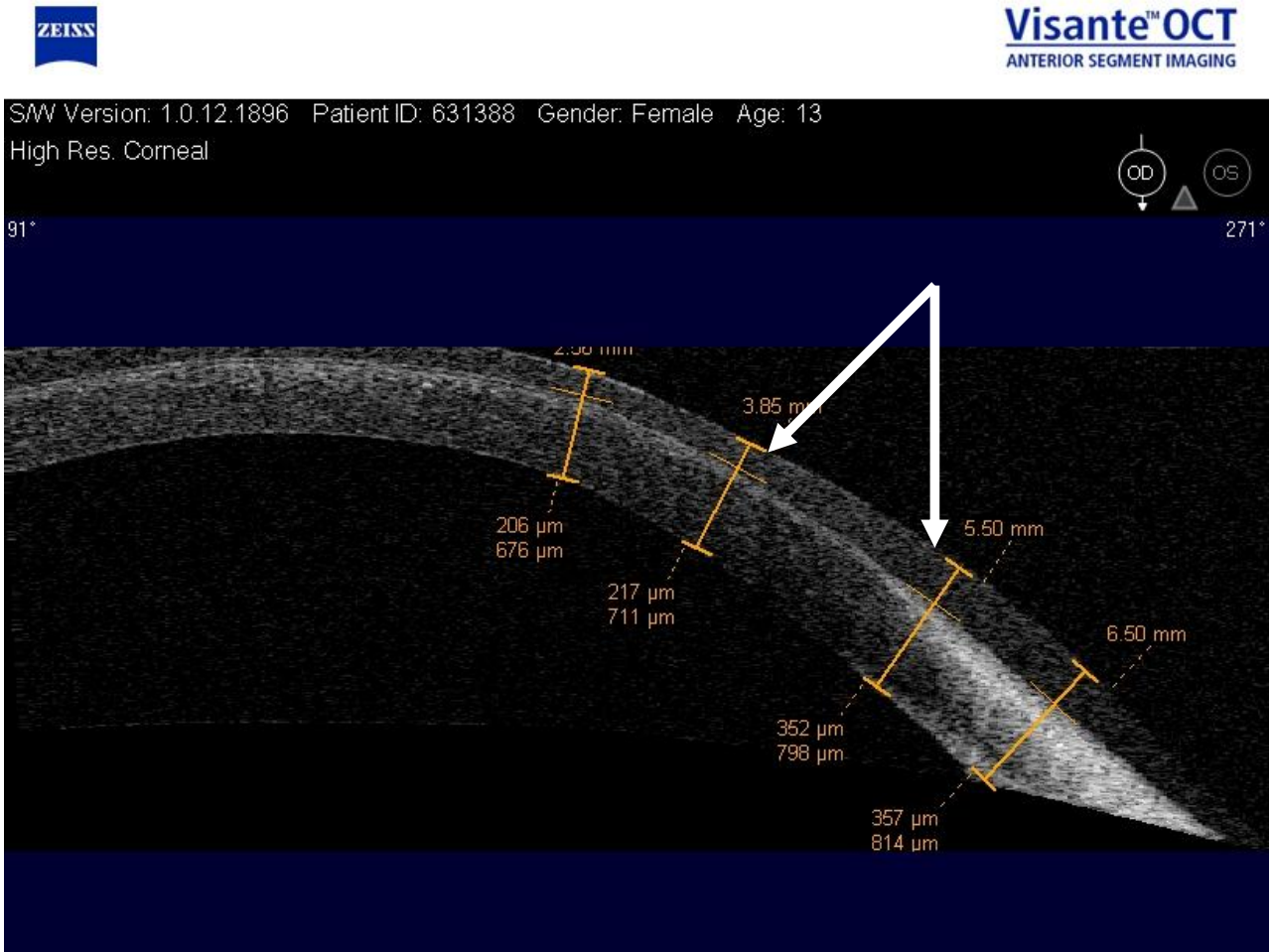


Рисунок 4.5 Положение мягкой торической контактной линзы, вертикальный срез на 6 часах

Глава 5. Эксимерлазерная коррекция астигматизма у детей и подростков

В последние десятилетия с появлением эксимерных лазеров бурное развитие получила фоторефракционная коррекция аномалий рефракции. Такие преимущества эксимерлазерной хирургии как высокая эффективность, точность, предсказуемость и безопасность дали возможность использовать ЛАЗИК в детской практике. В настоящей главе представлены сведения о течении послеоперационного периода, динамике рефракции, волнового фронта и функциональных показателей у детей и подростков после операции ЛАЗИК.

5.1 Клинические и рефракционные результаты.

С 2004 по 2007 гг. был проведен анализ результатов 32 операций ЛАЗИК 27 детей и подростков в возрасте от 8 до 16 лет (в среднем $12,75 \pm 3,5$ лет). Анамнестическим путем было установлено, что астигматизм в 100% случаев явился врожденной патологией. Для удобства все дети с астигматизмом были разделены на две подгруппы в зависимости от преобладания вида клинической рефракции.

Пятую подгруппу составили 10 пациентов (11 глаз) с простым и сложным миопическим астигматизмом, анизометропией. Среднее значение сферозэквивалента рефракции составило $-2,67 \pm 2,26$ дптр (от 1,25 до -4,5 дптр), среднее значение сферы – $-2,28 \pm 2,61$ дптр (от 0 до -6,5 дптр), среднее значение цилиндра – $3,77 \pm 1,71$ дптр (от 3,0 до 4,75 дптр);

В 6-ю подгруппу вошли 17 пациентов (21 глаз) с простым и сложным гиперметропическим астигматизмом, анизометропией. Среднее значение сферозэквивалента рефракции соответствовали $2,25 \pm 0,89$ дптр (от 1,25 до 5,25 дптр), среднее значение сферы – $2,65 \pm 1,5$ (от 0 до 6,25 дптр), среднее значение цилиндра $3,12 \pm 1,7$ – (от 1,5 до 4,5 дптр).

Все дети до операции наблюдались в отделении функциональной диагностики и плеопто-ортоптического лечения не менее 2-х лет. В этот период при необходимости была проведена меридиональная склеропластика. Всем пациентам производился осмотр периферии глазного дна с линзой

Гольдмана и при необходимости осуществлялась лазерная коагуляция сетчатки.

Показаниями к операции ЛАЗИК явились непереносимость полной очковой коррекции и астенопический синдром. Часть детей не переносили контактную коррекцию, несмотря на неоднократные попытки ношения как жестких, так и мягких торических контактных линз. Во всех случаях (100%) была выявлена амблиопия средней и высокой степени на глазах с астигматизмом.

Все пациенты прооперированы по стандартной технологии ЛАЗИК на установке «Микроскан».

Операция и послеоперационный период протекали у всех пациентов без осложнений. У анализируемых больных не отмечалось инфекционно-воспалительных, интраоперационных и послеоперационных осложнений на протяжении всего срока наблюдения.

Данные об исходной величине рефракции (СЭ) и динамика в различные сроки после ЛАЗИК в 2 группах детей и подростков представлены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Рефракция пациентов (сферозэквивалент) до и в различные сроки после операции ЛАЗИК при миопическом и гиперметропическом астигматизме ($M \pm \sigma$, дптр)

| Группы пациентов | До операции | Срок после операции | | | |
|------------------|-------------|---------------------|------------|------------|------------|
| | | 1 мес. | 3 мес. | 6 мес. | 12 мес. |
| 5-я (n= 11) | -2,67±2,26 | -0,67±0,3** | -0,31±0,2* | 0,24±0,21* | -0,2±0,27* |
| 6-я (n=21) | 2,25±0,89 | 0,75±0,2** | 0,64±0,24* | 0,56±0,27* | 0,5±0,3* |

*различие достоверно в сроки 1-3-6 месяцев с $p < 0,05$,

** различие достоверно до коррекции и срок 1 месяц после операции с $p < 0,01$.

В обеих группах нами были получены высокие рефракционные результаты. В срок 1 мес. после операции средняя рефракция была на уровне $-0,67 \pm 0,3$ дптр в 5-й подгруппе и в 6-й подгруппе на уровне $0,75 \pm 0,2$ дптр. Формирование послеоперационной рефракции в группе детей и подростков с миопическим астигматизмом в основном завершалось к 1-3-му месяцу, а в группе с гиперметропической рефракцией к 3-6-му месяцу после операции. Это, по-видимому, связано с завершением репаративных процессов в роговице.

В ходе исследования были отмечены различия по стабилизации рефракционного эффекта у детей в возрасте 8-12 лет и подростков в возрасте 13-16 лет. У детей среднее значение сферозквивалента рефракции к 1 месяцу после операции составило $1,15 \pm 0,1$ дптр, среднее значение сферического компонента рефракции $-0,85 \pm 0,2$ дптр, среднее значение цилиндрического компонента рефракции $1,5 \pm 0,3$ дптр. К 6 месяцу после операции значение сферозквивалента рефракции составило $1,25 \pm 0,2$ дптр, среднее значение сферического компонента рефракции $-0,99 \pm 0,2$ дптр, среднее значение цилиндрического компонента рефракции $1,71 \pm 0,4$ дптр. У подростков среднее значение сферозквивалента рефракции к 1 месяцу после операции составило $-1,2 \pm 0,15$ дптр, среднее значение сферического компонента рефракции $-0,75 \pm 0,3$ дптр, среднее значение цилиндрического компонента рефракции $0,85 \pm 0,5$ дптр. К 6 месяцу после операции значение сферозквивалента рефракции к 1 месяцу после операции составило $1,2 \pm 0,3$ дптр, среднее значение сферического компонента рефракции $-0,70 \pm 0,2$ дптр, среднее значение цилиндрического компонента рефракции $1,1 \pm 0,2$ дптр. Таким образом, у пациентов в возрасте 8-12 лет наблюдается снижение рефракционного эффекта, по сравнению с пациентами 13-16 лет, что может быть связано с особенностью детской роговицы.

Аналогичные данные послеоперационной динамики рефракционного эффекта операции в различных возрастных группах были получены Рыбинцевой Л.В., 2000 [93].

Для определения взаимосвязи и взаимозависимости величины и качества конечного рефракционного эффекта операции с особенностями послеоперационного анатомо-рефракционного профиля роговицы производилось выполнение видеокомпьютерной кератотопографии.

Анализ кератотопографических данных в послеоперационном периоде показал, что у детей и подростков с миопическим астигматизмом после операции произошло уплощение в центральной зоне с плавным ослаблением рефракции по направлению к периферии, хотя и не наблюдалось однородного цвета в кератотопографических изображениях. На рис. 5.1 показаны кератотопограммы до операции (а) и в динамике через 1 (b), 6 (c) и 12 (d) месяцев, из которого следует, что наибольший рефракционный эффект наблюдался в центре роговицы и оставался стабильным в течение 1 года после операции.

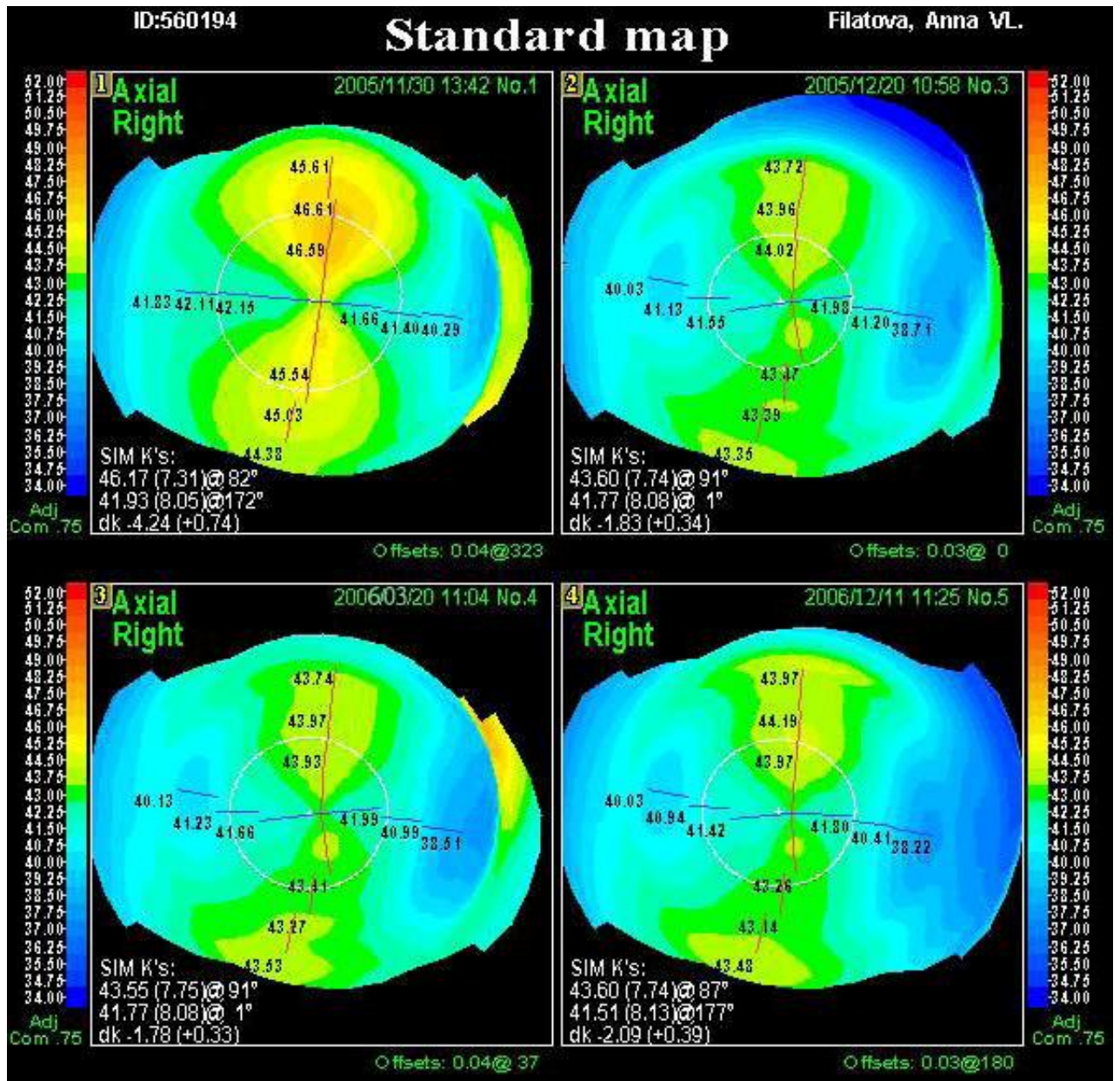


Рисунок 5.1 Кератотопограмма пациента с миопическим астигматизмом до и в различные сроки после ЛАЗИК:

- a) до коррекции,
- b) через 1 мес. после коррекции,
- c) через 3 мес. после коррекции,
- d) через 6 мес. после коррекции

На рис. 5.2 продемонстрирован пример кератотопограммы пациента с гиперметропическим астигматизмом до операции (a) и в сроки через 1 (b), 3 (c) и 6 месяцев (d), из которого следует, что после операции максимальный рефракционный эффект наблюдается в центре роговицы, связанный с более крутым профилем роговицы, созданным в результате гиперметропической абляции. К 3-6 месяцам после операции происходит незначительное уплощение роговицы, чем возможно и объясняется снижение рефракционного эффекта у детей с гиперметропическим астигматизмом. По всей видимости, это связано с технологией проведения абляции при гиперметропическом астигматизме и конгруэнтности поверхности ложа абляции и внутренней поверхности клапана.

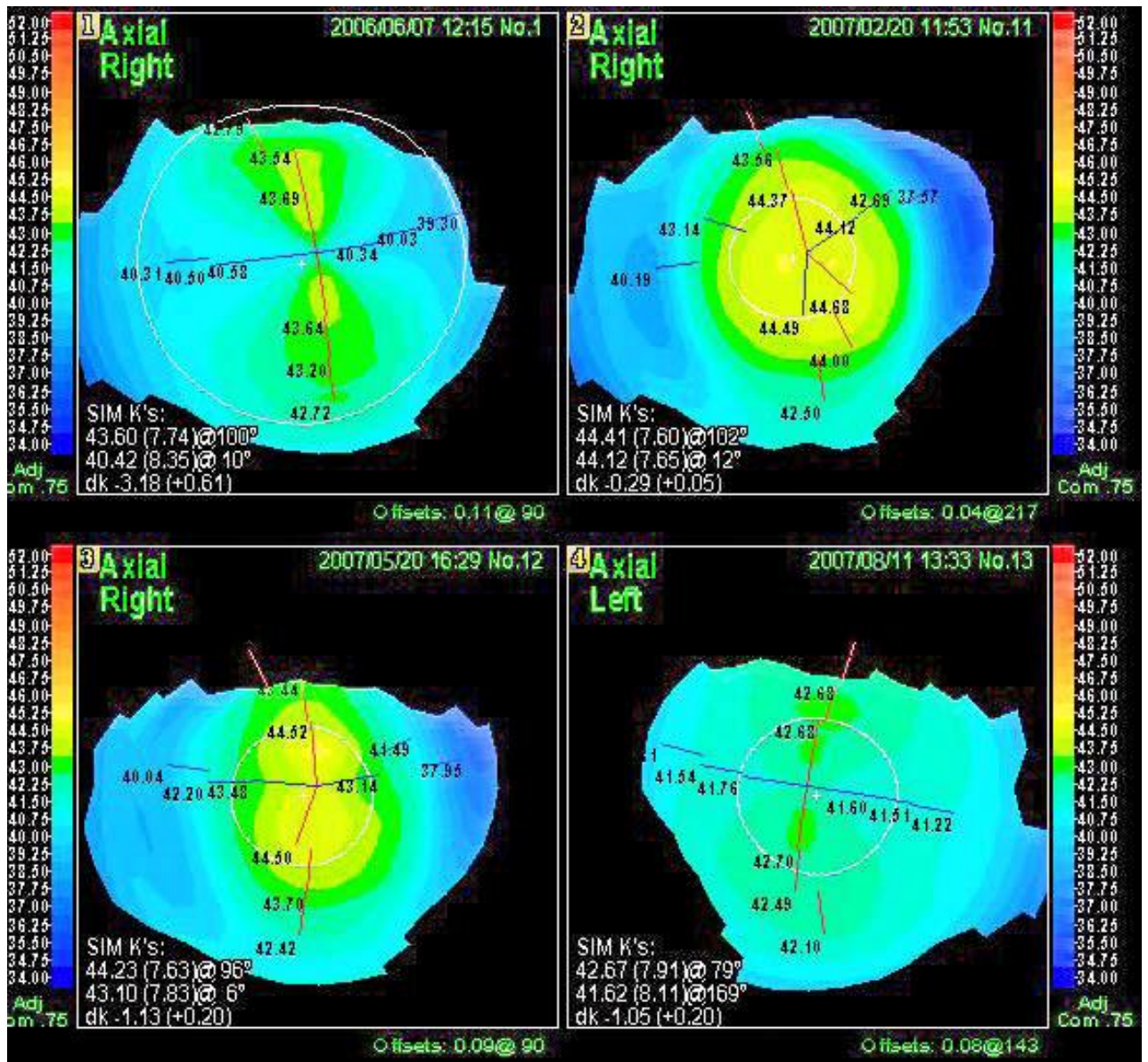


Рисунок 5.2 Кератотопограмма пациента с гиперметропическим астигматизмом до и в различные сроки после ЛАЗИК

- a) до коррекции,
- b) через 1 мес. после коррекции,
- c) через 3 мес. после коррекции,
- d) через 6 мес. после коррекции

Измерения толщины роговицы были проведены через 12 месяцев после операции на 9 глазах 7 пациентов. До операции средняя толщина роговицы составила $566,3 \pm 48,1$ мкм, через 1 месяц после операции – $516,7 \pm 45,1$ мкм, через 12 месяцев после операции – $523,1 \pm 74$ мкм. Выявлено, что у детей и подростков имеется тенденция к увеличению толщины роговицы после

операции ЛАЗИК в среднем на 10 мкм, более выраженная у детей в возрасте 8-12 лет (на 12 мкм) по сравнению с подростками 13-16 лет (на 6 мкм). Возможно, этим объясняется снижение рефракционного эффекта у младшего контингента пациентов и связано с особенностями строения детской роговицы. Полученные данные из-за малого количества наблюдений не являются статистически достоверными и требуют большего количества наблюдений, более тщательных исследований по биомеханике детской роговицы, включая определение индекса резистентности.

5.2. Результаты исследования волнового фронта, полученного в результате операции ЛАЗИК у детей и подростков

В литературе имеются данные о влиянии клинически значимых индуцированных аберраций высших порядков после эксимерлазерной коррекции на снижение качества зрения. Так, например, появление комы вызывает двоение изображения, сферической аберрации – засветы при взгляде на точечный источник света.

Одной из задач настоящего исследования явился анализ влияния индуцированных аберраций после операции ЛАЗИК на качество зрения у детей и подростков с различными видами астигматизма.

Уровень суммарных аберраций в группе детей и подростков с миопическим астигматизмом варьировал в пределах от 2,38 до 8,275 мкм ($M \pm \sigma$ $4,617 \pm 1,88$ мкм), уровень аберраций высших порядков колебался от 0,242 до 0,605 мкм и в среднем равнялся $0,35 \pm 0,11$ мкм. Показатели комы, трейлола и сферической аберрации распределились следующим образом: кома – разброс составил от 0,035 до 0,303 мкм ($M \pm \sigma$ $0,171 \pm 0,097$ мкм), трейлол – от 0,033 до 0,505 мкм (в среднем $0,211 \pm 0,136$ мкм), СА - от 0,032 до 0,204 мкм (средние значения $0,088 \pm 0,054$ мкм).

Уровень суммарных аберраций в 6-й подгруппе детей и подростков находился в пределах от 0,232 до 8,41 (средние показатели $5,339 \pm 2,06$ мкм), уровень аберраций высших порядков варьировал от 0,207 до 0,661 мкм и в

среднем составил $0,43 \pm 0,13$ мкм. Значения коэффициентов Цернике колебались в пределах: кома от 0,051 до 0,509, трейфойл от 0,03 до 0,454 мкм, сферическая аберрация от 0,066 до 0,422 и средние их значения были равны кома – $0,232 \pm 0,115$ мкм, трейфойл $-0,15 \pm 0,089$ мкм, СА – $0,189 \pm 0,215$ мкм.

В результате проведения операции ЛАЗИК отмечено снижение уровня суммарных аберраций у детей в 5-й подгруппе на 2,73 мкм и в 6-й подгруппе на 2,56 мкм, что соответствует уменьшению степени аметропии и приближается к показателям контрольной группы. Аберрации высших порядков возросли в среднем в 2 раза в обеих подгруппах, однако особо значимым было увеличение сферической аберрации в группе детей и подростков с миопическим астигматизмом (коэффициент СА возрос на 0,3 мкм, $p < 0,01$), что соответствует повышению уровня сферической аберрации у взрослых пациентов, прооперированных по технологии ЛАЗИК, и по всей вероятности, связано с формированием роговичного клапана [36]. В отличие от пациентов с миопическим астигматизмом у детей и подростков с гиперметропической рефракцией в результате операции не происходило резкого увеличения сферической аберрации, что менее влияет на качество зрения. Однако в данной группе несколько выше были кома и трейфойл (увеличение комы на 0,3 мкм и трейфойла на 0,4 мкм $p < 0,01$), что мы связываем с профилем гиперметропической абляции. В табл. 5.2, 5.3 отражена динамика изменения АОСГ в различные сроки после операции, которая соответствует послеоперационной динамике рефракции.

Таблица 5.2

Средний уровень RMS Total у пациентов до и в различные сроки после операции ЛАЗИК при миопическом и гиперметропическом астигматизме ($M \pm \sigma$, мкм).

| Подгруппы пациентов | До операции | Срок после операции | | | |
|---------------------|------------------|---------------------|-----------|-----------|-----------|
| | | 1 мес. | 3 мес. | 6 мес. | 12 мес. |
| 5-я (n= 11) | 4,618±1,88 ** | 2,48±1,15* | 1,85±0,9* | 1,8±0,78 | 1,8±0,75 |
| 6-я (n=21) | 5,339±2,06 ** | 2,54±1,79* | 2,6±1,5* | 2,63±1,2* | 2,65±0,78 |

* различие достоверно в сроки 1-3-6 месяцев с $p < 0,05$,

** различия достоверны до коррекции и в срок 1 месяц после операции

Динамика уменьшения аберраций высших порядков статистически достоверна в сроки 1-3 месяца после операции ($p < 0,05$) и отражает изменение роговичной поверхности, происходящее в результате заживления (табл. 5.3.)

Таблица 5.3

Средний уровень RMS HO у пациентов до и в различные сроки после операции ЛАЗИК при миопическом и гиперметропическом астигматизме ($M \pm \sigma$, мкм).

| Группы пациентов | До операции | Срок после операции | | | |
|------------------|-------------|---------------------|------------|------------|------------|
| | | 1 мес. | 3 мес. | 6 мес. | 12 мес. |
| 5-я (n= 11) | 0,35±0,11 | 0,85±0,46** | 0,68±0,5* | 0,67±0,5* | 0,67±0,3* |
| 6-я (n=21) | 0,43±0,13 | 0,73±0,38** | 0,71±0,35* | 0,69±0,31* | 0,65±0,12* |

* $p < 0,05$ различие достоверно в сроки 1-3-6 месяцев,

** различия достоверны до коррекции и в срок 1 месяц после операции

Таким образом, применение технологии ЛАЗИК позволило добиться снижения суммарных аберраций, в основном за счет коррекции аберраций низших порядков (дефокуса и астигматизма). Аберрации высших порядков имели тенденцию к увеличению, однако на протяжении послеоперационного срока наблюдения они стабилизировались у детей и подростков с миопическим астигматизмом к 3-му месяцу, а у детей и подростков с гиперметропическим астигматизмом – к 6-му месяцу.

У двух пациентов (на трех глазах, 9,4%) с гиперметропическим астигматизмом после операции наблюдалось увеличение АВП свыше 1,0 мкм, что проявлялось астигматическими жалобами в первые 1-3 месяца после операции, которые по мере течения регенераторных процессов в роговице и адаптации зрительной системы к новым условиям уменьшились совместно со снижением АВП до 0,85 мкм.

5.3. Визуальные, функциональные результаты коррекции.

Значительный клинический опыт, накопленный офтальмохирургами мира, убедительно свидетельствует о том, что индуцированные АВП в процессе эксимерлазерной коррекции влияют на снижение качества зрения. Рядом авторов показано, что снижение максимально скорректированной остроты зрения после операции, отсутствие или наличие таких негативных явлений как блики, ореолы при взгляде на точечный источник света, ослепление, проявляющееся в различное время суток, находится в прямой зависимости от АВП, индуцированных хирургическим вмешательством (изменение анатомо-рефракционного профиля роговицы, наличие клапана, степени децентрации) [106, 113, 122].

В 5-й подгруппе детей и подростков среднее значение некорректированной остроты зрения составило $0,2 \pm 0,18$ (от 0,04 до 0,4), скорректированной остроты зрения – $0,58 \pm 0,17$ (от 0,3 до 0,6).

Во 6-й подгруппе средние значения некорригированной остроты зрения были равны $0,202 \pm 0,23$ (0,05 до 0,4), корригированной остроты зрения – $0,58 \pm 0,1$ (от 0,3 до 0,5).

После операции во всех группах были получены высокие показатели остроты зрения, практически не отличающиеся от данных до операции с коррекцией. Поскольку все дети и подростки до операции имели амблиопию различной степени, то после операции назначалось плеоптическое лечение с целью максимально возможного повышения остроты зрения в сроки 1, 3, 6, 12 месяцев.

За период с первого по двенадцатый месяцы наблюдения наблюдалась положительная динамика в показателях остроты зрения. Возрастала как средняя острота зрения, так и число глаз с остротой зрения 0,5 и выше (рис. 5.3)

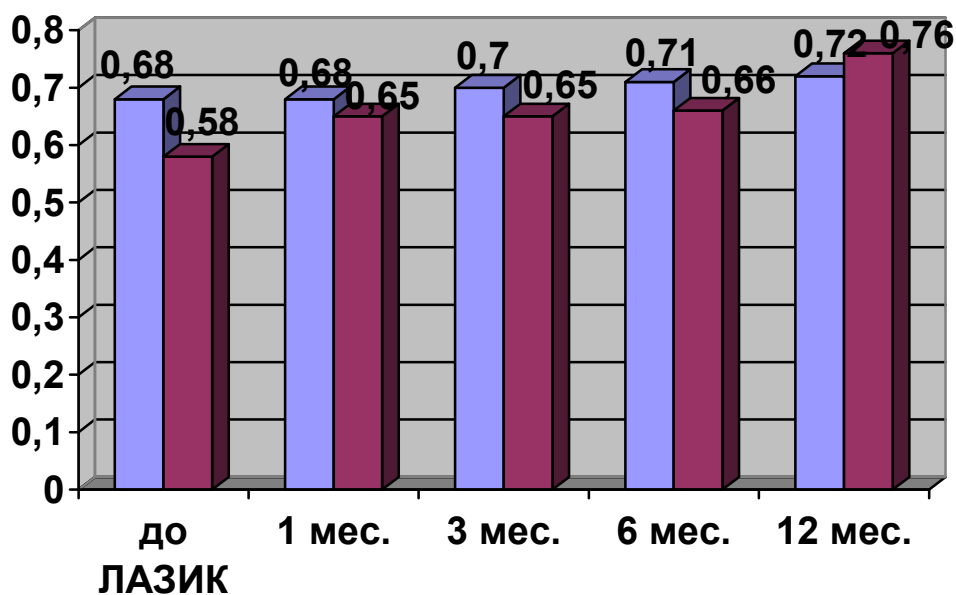


Рисунок 5.3 Динамика остроты зрения в различные сроки коррекции ЛАЗИК

Таким образом, в послеоперационном периоде некорригированная острота зрения соответствовала максимальной корригированной остроте зрения до операции в группе детей и подростков с миопическим

астигматизмом. К концу срока наблюдения КОЗ повысилась на 0,1 по сравнению с исходными данными. В группе детей и подростков с гиперметропическим астигматизмом НКОЗ после операции превышала максимально корригированную остроту зрения до операции на 0,1 и к концу срока наблюдения увеличилась на 0,2 ($p < 0,05$).

При анализе динамики послеоперационной остроты зрения детской и подростковой подгрупп была выявлена следующая закономерность. Во всех случаях острота зрения без коррекции повысилась после ЛАЗИК. Среднее ее повышение у детей составило $0,45 \pm 0,1$, у подростков – $0,34 \pm 0,2$. Острота зрения с коррекцией у детей повысилась в 80,5% случаях в среднем на $0,3 \pm 0,4$, не изменилась в 10,1% случаев, снизилась на 3 глазах на 0,2 (9,4%). У подростков повышение остроты зрения с коррекцией отмечено в 75% в среднем на $0,2 \pm 0,1$, не изменилась в 70% случаев, снижения остроты зрения не отмечено.

Как видно из рис. 5.4, у детей и подростков с астигматизмом ПКЧ снижена на всех частотах по сравнению с группой пациентов с эмметропией. Если среднее значение контрастной чувствительности в области низких частот было снижено на 4-6 дБ, то в области высоких частот – на 7-8 дБ. Этот факт указывает на то, что у детей и подростков с астигматизмом страдает функция различения более мелких предметов по сравнению с ориентировкой в пространстве. После коррекции методом ЛАЗИК в группе детей и подростков с миопическим астигматизмом увеличение контрастной чувствительности на низких и средних частотах произошло на 4 дБ, что приближается к значениям в группе детей и подростков с эмметропией. В тех случаях, когда максимально корригируемая острота зрения давала высокие результаты, а aberrации высших порядков увеличивались свыше 0,8 мкм, имело место снижение контрастной чувствительности на высоких частотах.

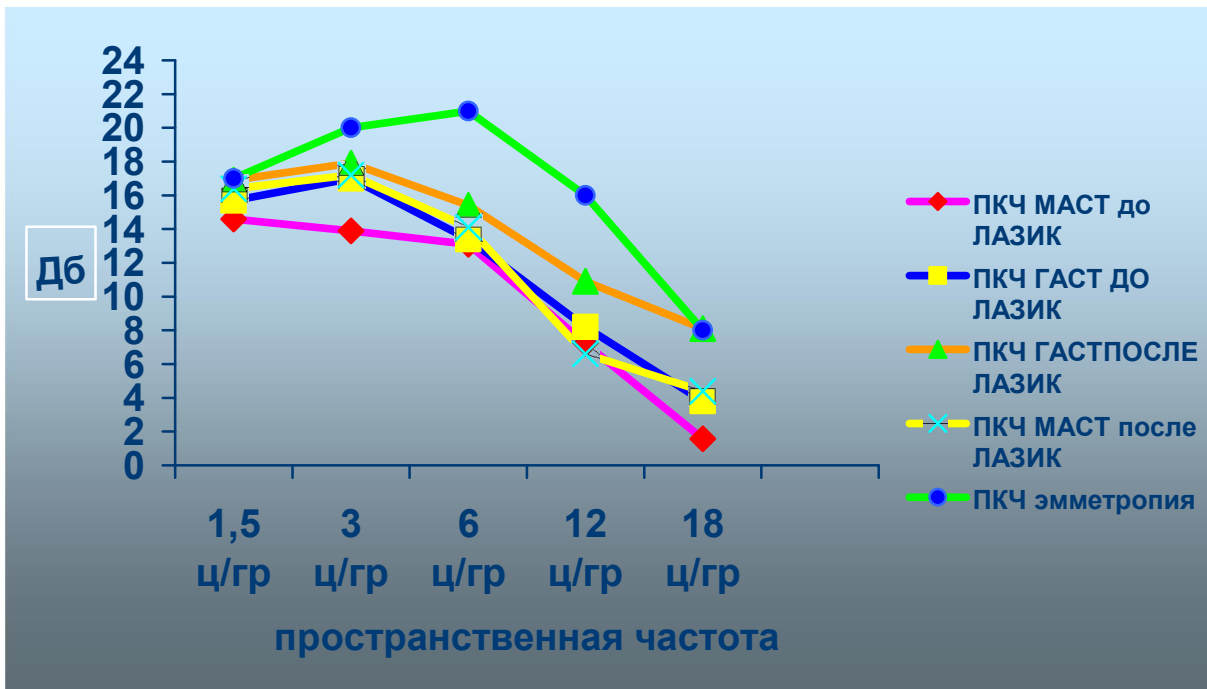


Рисунок 5.4 Пространственная контрастная чувствительность до и после ЛАЗИК у детей и подростков с астигматизмом

При обследовании аккомодационной функции глаза у детей и подростков с миопическим астигматизмом мы обнаружили повышение объема абсолютной аккомодации с $7,8 \pm 1,75$ до $10,2 \pm 0,58$ дптр и в группе детей и подростков с гиперметропическим астигматизмом с $7,12 \pm 1,45$ до $11,1 \pm 1,85$ дптр, что практически соответствует объему аккомодации у здоровых детей и подростков. Увеличение аккомодационной способности глаз, возможно, позволило скомпенсировать увеличение aberrаций высших порядков. В исследуемой группе 6 человек (11 глаз) в течение 3-6 месяцев до операции пользовались МТКЛ. В этой подгруппе не было выявлено случаев спазма аккомодации в первые 1-3 месяца после операции. В группе детей и подростков с гиперметропическим астигматизмом в тех случаях, когда дети не пользовались МКТЛ до операции, отмечался спазм аккомодации (12 глаз).

Резюме:

Коррекция различных видов астигматизма имеет свои особенности и в детской возрастной группе наблюдается снижение рефракционного эффекта в большей степени, в то время как в группе подростков рефракционные

результаты были более стабильны. Визуальные результаты коррекции к концу срока наблюдения были выше в детской возрастной группе, что может быть связано с более пластичным состоянием зрительного анализатора.

Коррекция различных видов астигматизма у детей и подростков с применением технологии ЛАЗИК дает возможность значительного снижения суммарных аберраций, что в свою очередь приводит к повышению некорригированной остроты зрения, пространственной контрастной чувствительности и улучшению аккомодационной способности глаза у детей и подростков. Увеличение аберраций высших порядков до уровня 0,85 мкм существенно не оказывает влияния на зрительные функции, свыше этого уровня аберрации высших порядков могут вызывать ряд астенопических жалоб. Регенераторные процессы оказывают положительное влияние на динамику индуцированных аберраций высших порядков, которые имеют тенденцию к уменьшению с течением времени.

Клинический пример:

Пациентка Ф., 14 лет, наблюдалась с 1999 года в отделении функциональной диагностики и плеопто-ортоптического лечения с диагнозом простой миопической астигматизм, анизометропия, амблиопия средней степени. В течение 5 лет проходила курсы плеоптического лечения с целью повышения остроты зрения. Необходимо отметить, что пациентка не переносила максимальную коррекцию и контактные линзы. За время наблюдения прогрессирования сферического компонента рефракции отмечено не было и было принято решение о хирургической коррекции астигматизма с последующим плеоптическим лечением. В 2005 году была проведена операция ЛАЗИК по стандартной технологии.

До операции сферический компонент рефракции составил -0,25 дптр, цилиндрический сферический компонент рефракции – 5,0 дптр, преломляющая сила роговицы в сильном меридиане равнялась 46,94 дптр, в слабом меридиане – 42,24 дптр. Средняя квадратичная ошибка волнового

фронта для суммарных aberrаций составила 5,121 мкм, для aberrаций высших порядков – 0,296 мкм (рис. 5.5).

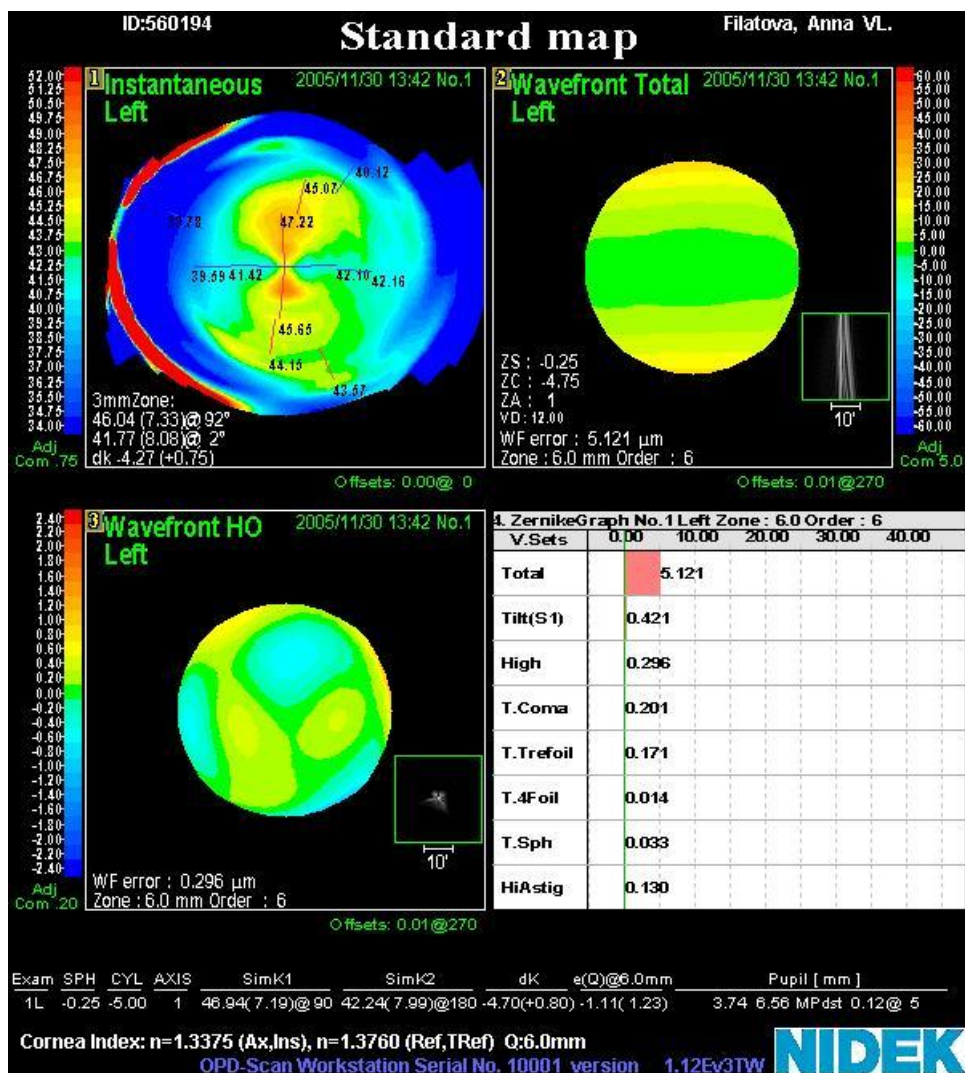


Рисунок 5.5 Кератотопографическая карта, карта волнового фронта и графическое распределение коэффициентов Цернике пациентки Ф. 14 лет до проведения операции ЛАЗИК

После проведения торической абляции цилиндрический сферический компонент рефракции составил -0,25 дптр, цилиндрический – -0,75 дптр, преломляющая сила роговицы в сильном меридиане составила 43,32 дптр, в слабом меридиане – 41,87 дптр.

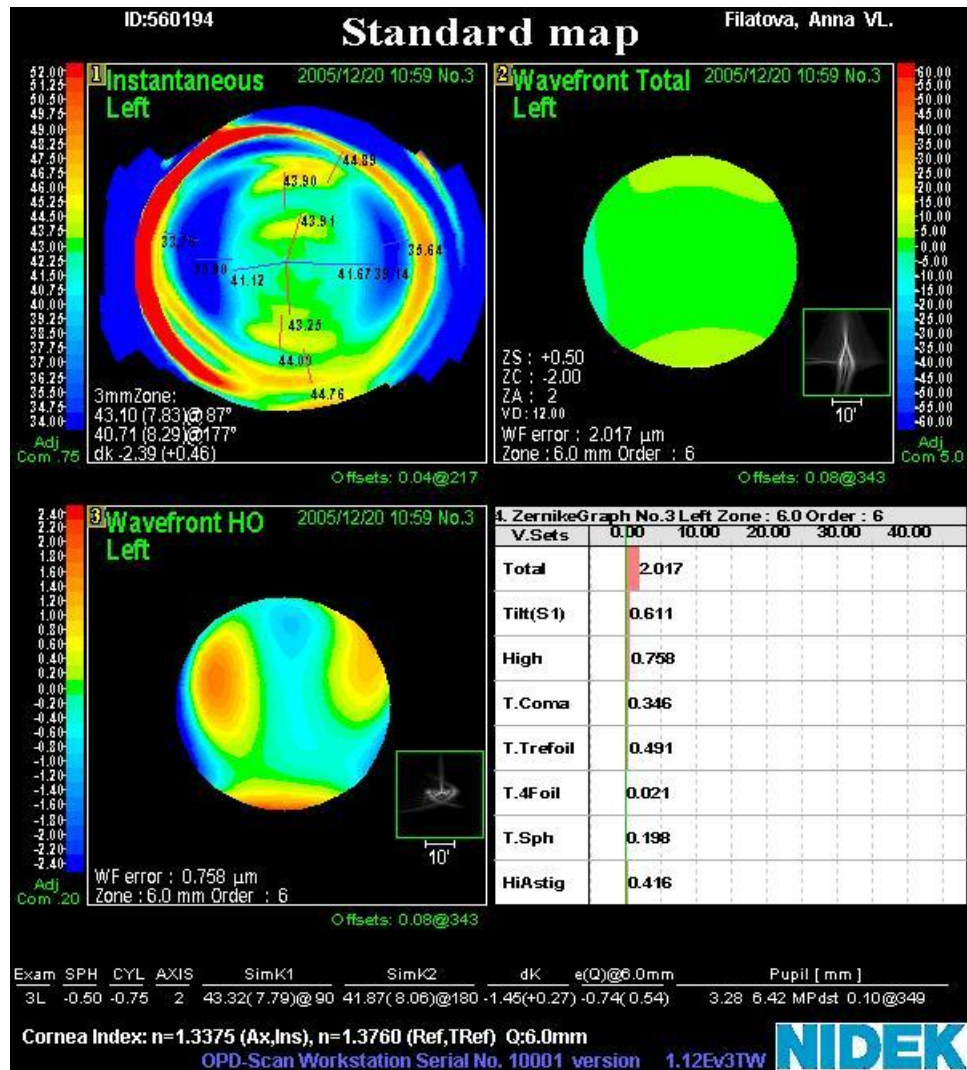


Рисунок 5.6 Кератотопографическая карта, карта волнового фронта и графическое распределение коэффициентов Цернике пациентки Ф. 14 лет после проведения операции ЛАЗИК

Как показано на рис. 5.6 средняя квадратичная ошибка волнового фронта для суммарных aberrаций после проведения операции составила 2,017 мкм, для aberrаций высших порядков – 0,758 мкм. Среди aberrаций высших порядков наибольшим изменениям подверглась сферическая aberrация. Произошло увеличение этого коэффициента с 0,033 до 0,198 мкм, то есть в шесть раз, в то время как кома и трейфойл увеличились в 1,7 и 2,8 раз (кома с 0,201 до 0,346 мкм, трейфойл с 0,171 до 0,494 мкм).

Положение лоскута, сформированного в процессе операции ЛАЗИК, было оценено с помощью оптического томографа Visante OCT фирмы

«ZEISS». Как видно из рис. 5.7, лоскут имеет толщину в среднем 100 мкм, остаточная толщина роговицы составляет в среднем 400 мкм.

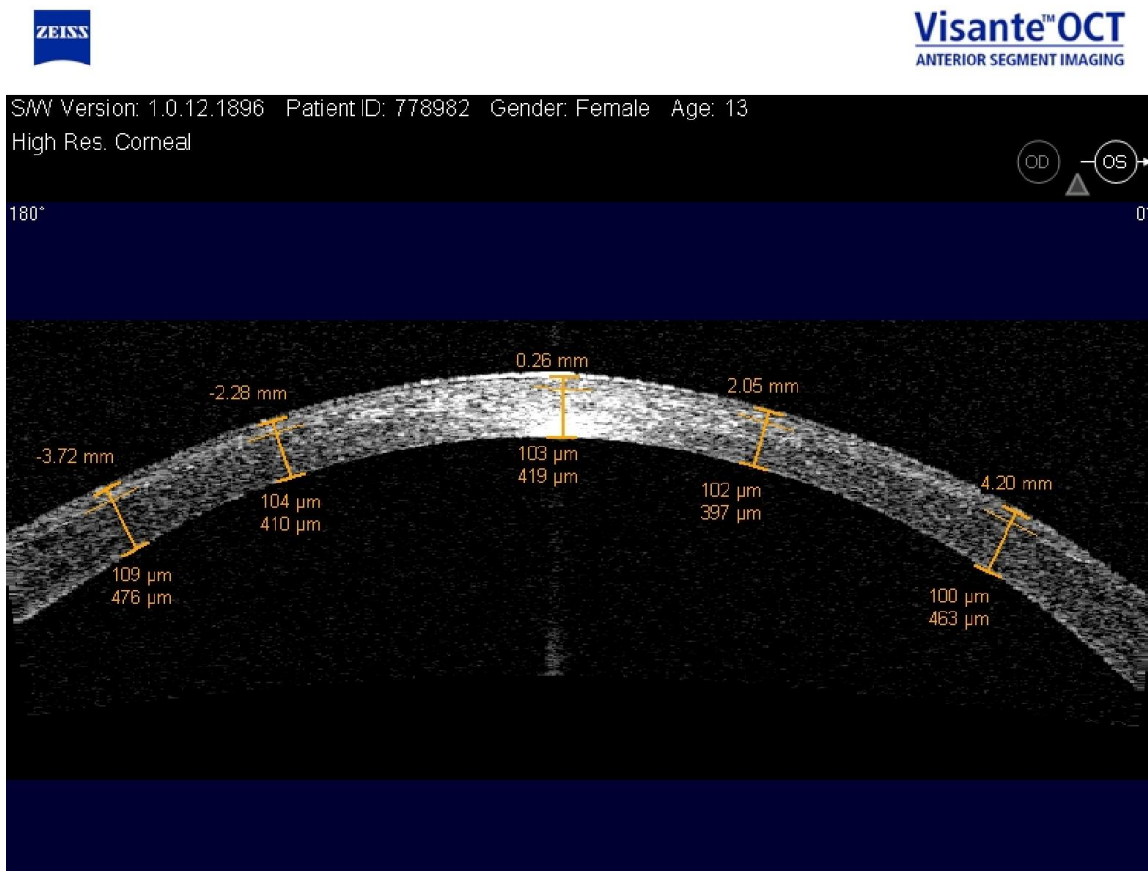


Рисунок 5.7 Состояние роговичного лоскута в результате проведения операции ЛАЗИК

Состояние зрительных функций изменилось следующим образом: некорригированная острота зрения после операции соответствовала корригированной после операции и составила 0,6. Через 3 месяца после операции она увеличилась до 0,8. Пространственная контрастная чувствительность после операции увеличилась на 6 дБ на низких и на 2,5 дБ на средних частотах, и через 6 месяцев повысилась на высоких частотах на 3 дБ. На рис. 5.7 показана динамика ПКЧ до операции и спустя 12 месяцев.

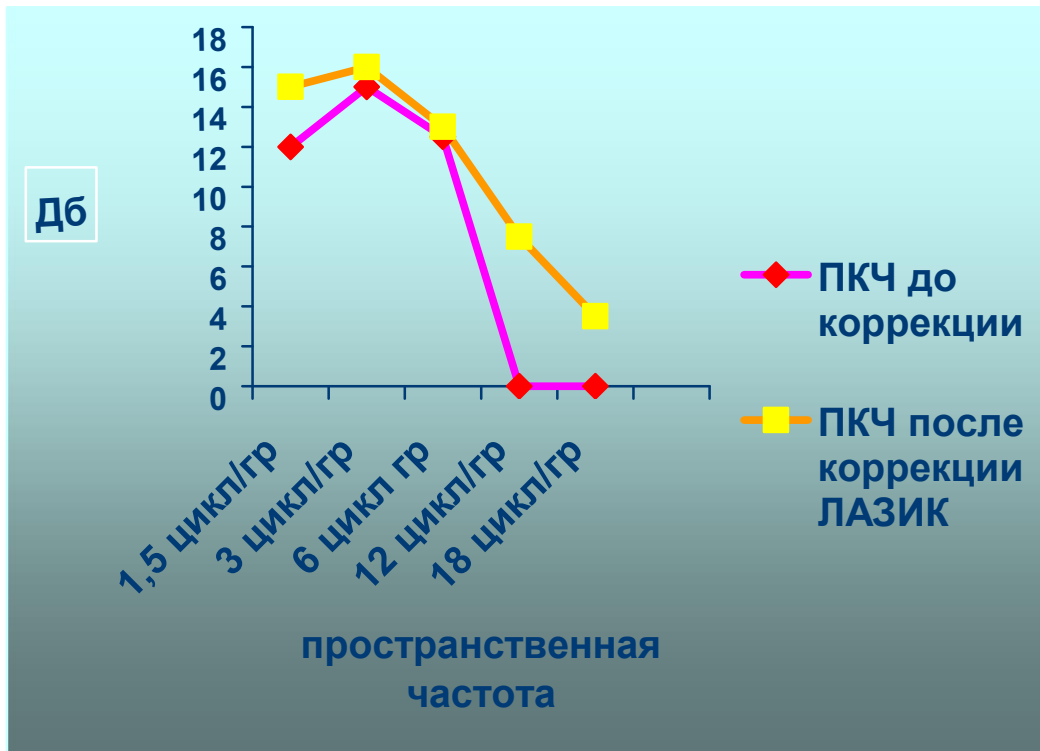


Рисунок 5.7 Пространственная контрастная чувствительность до и после операции ЛАЗИК

Объем абсолютной аккомодации увеличился с 6,5 до операции до 10,0 дптр.

Таким образом, проведенные мероприятия по коррекции астигматизма и лечению амблиопии убедительно свидетельствуют о том, что операция ЛАЗИК является альтернативным методом коррекции астигматизма и лечения амблиопии.

Глава 6. Сравнительная характеристика волнового фронта при коррекции астигматизма у детей и подростков методом ЛАЗИК и мягкими торическими контактными линзами

У пациентов, использующих в качестве коррекции мягкие торические контактные линзы, произошло снижение уровня суммарных aberrаций в подгруппе детей и подростков с миопическим астигматизмом с $4,99 \pm 2,17$ до $1,88 \pm 0,62$ мкм и гиперметропическим астигматизмом – с $4,121 \pm 2,13$ до $1,9 \pm 1,5$ мкм. Aberrации высших порядков незначительно возросли в группе детей и подростков с миопическим астигматизмом с $0,39 \pm 0,165$ до $0,52 \pm 0,16$ мкм и гиперметропическим астигматизмом – $0,35 \pm 0,09$ до $0,50 \pm 0,25$ мкм. Наиболее значимым было увеличение трейфола и комы при коррекции торическими контактными линзами. На наш взгляд, увеличение aberrаций высших порядков, возможно, было связано с нестабильностью положения и дизайном мягкой торической контактной линзы.

В результате операции ЛАЗИК произошло снижение суммарных aberrаций в 5-й подгруппе детей и подростков с миопическим астигматизмом с $4,618 \pm 1,88$ до $2,48 \pm 1,15$ мкм и в 6-й подгруппе с гиперметропическим астигматизмом – с $5,339 \pm 2,06$ до $2,54 \pm 1,79$ мкм. При оценке aberrаций высших порядков была тенденция к их повышению после операции в обеих подгруппах с $0,35 \pm 0,11$ и $0,43 \pm 0,13$ мкм до $0,85 \pm 0,46$ и $0,73 \pm 0,38$ соответственно. Особо значимым было увеличение сферической aberrации у детей со сложным миопическим астигматизмом, что возможно связано с формированием роговичного клапана. В отличие от подгруппы со сложным миопическим астигматизмом у детей и подростков с гиперметропической рефракцией в результате операции не происходило резкого увеличения сферической aberrации, что менее влияет на качество зрения. Однако в данной подгруппе несколько выше были значения комы и трейфола, что мы связываем с профилем гиперметропической абляции.

При сравнительном анализе средней остроты зрения (табл.6.1) в группе детей и подростков с миопическим астигматизмом не было выявлено достоверной разницы до и после коррекции контактными линзами и методом ЛАЗИК ($p > 0,2$ и $p > 0,1$ соответственно). В группе детей и подростков с гиперметропическим астигматизмом произошло увеличение средней остроты зрения на 0,1 при контактной и эксимерлазерной коррекции ($p < 0,01$ и $p < 0,001$ соответственно). Однако достоверной разницы между методами коррекции не наблюдалось.

Таблица 6.1

Средние показатели остроты зрения у детей и подростков с различными видами астигматизма до и после коррекции

| Вид астигматизма | Контактная коррекция | | ЛАЗИК | | Эмметропия |
|--------------------|----------------------|------------------------|-------------------|-----------------------|-----------------|
| | до | В МТКЛ | до | после | |
| Миопический | 0,64 ± 0,12 | 0,68 ± 0,14 | 0,68 ± 0,17 | 0,72 ± 0,19 | 0,9 ± 0,1 |
| Гиперметропический | 0,51 ± 0,21 | 0,75 ± 0,2 ** | 0,58 ± 0,1 | 0,76 ± 0,2 * | ** |

Примечание: различие достоверно по сравнению с уровнем максимально скорректированной остроты зрения до коррекции с $p < 0,01$ *, с $p < 0,001$ **, по сравнению с контрольной группой эметропов с $p < 0,001$ **.

При анализе показателей контрастной чувствительности у детей и подростков контрольной группы и детей с астигматизмом было выявлено достоверное снижение пространственной контрастной чувствительности

($p < 0,01$). После контактной и эксимерлазерной коррекции произошло увеличение средних показателей по сравнению с исходным уровнем ($p < 0,01$) (см. табл. 6.2), хотя и не было достигнут уровень контрольной группы. Возможно, это было связано с наличием амблиопии на глазах с астигматизмом и увеличением АВП.

Таблица 6.2

Средние показатели пространственной контрастной чувствительности (дБ) для 5 частот (1,5-18 ц/гр) в зависимости от вида астигматизма у детей и подростков до и после коррекции

| Вид астигматизма | Контактная коррекция | | ЛАЗИК | | Эмметропия (контроль) |
|--------------------|----------------------|---------------|--------------|-------------------|-----------------------|
| | до | В МТКЛ | до | после | |
| Миопический | 7,65 ±0,28 | 13,9 ±2,8* | 10,8 ±0,5 | 13,1 ±0,5 * | 16,9 ±0,22** |
| Гиперметропический | 10,6 ±0,2 | 13,2 ±1,5* | 8,8 ±0,4 | 14,5 ±0,3 * | |

Примечание: различие достоверно по сравнению с исходным уровнем пространственной контрастной чувствительности до коррекции МТКЛ и ЛАЗИК с $p < 0,01$ *, с $p < 0,001$ **, по сравнению с контрольной группой эмметропов с $p < 0,001$.

Резюме:

В результате коррекции различных видов астигматизма мягкими торическими контактными линзами и методом ЛАЗИК происходит снижение суммарных аберраций. Зрительные функции и объем абсолютной аккомодации имеют тенденцию к повышению в результате коррекции астигматизма. Аберрации высших порядков имеют тенденцию к незначительному повышению при обоих методах коррекции, что связано с особенностями каждого метода коррекции. При непереносимости мягких торических контактных линз или отказе от ношения по социальным показаниям возможно проведение альтернативного метода коррекции (ЛАЗИК).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наиболее частыми причинами снижения зрения у детей и подростков являются аномалии рефракции, среди них значительное место занимают различные виды астигматизма (4,6-37,4%), которые нередко приводят к амблиопии, косоглазию и др. (Уткин В.Ф., 1987, Ермилова И.А., 1998). В связи с этим, полноценная коррекция рефракционных нарушений является одним из условий нормального развития зрительного анализатора (Аветисов С.Э., 2004). Поэтому коррекция астигматизма остается весьма актуальной проблемой и в настоящее время осуществляется с помощью очков, торических контактных линз (Линник Е.А., 2005; Архипова М.М., 2006) и с применением эксимерлазерных технологий (Рыбинцева Л.В., 2000; Медведева Н.И., 2002; Куликова И.Л., 2006).

Оценка эффективности различных методов коррекции имеет большое значение при их выборе, особенно у детей. Кроме того, в дополнение к хорошо известным субъективным методам добавилась возможность объективной количественной оценки оптической системы глаза – аберрометрия. Поскольку глаз является сложной оптической системой, ему присущи те же физические недостатки, которые характерны для любой оптической системы. Аберрации по сути – это погрешности изображения. Измерение этих погрешностей между реальным и идеальным волновым фронтом осуществляется с помощью современных анализаторов волнового фронта – аберрометров. Для количественного описания аберраций используют серии полиномов Цернике.

Наибольший интерес представляют аберрации высших порядков (АВП), такие как кома, трфоил, сферическая аберрация (СА), которые оказывают влияние на зрительные функции и не могут быть компенсированы обычными методами коррекции. По данным литературы (Корниловский И.М., 2006) на долю роговичных аберраций приходится 76% от всех АВП, остальные 24% индуцируются внутренними структурами глаза. На АВП также оказывают влияние возраст, толщина роговицы, показатели внутриглазного давления и ряд других факторов. При этом по данным R. A. Appalegete (1998) в 20%

случаев АВП оказывают влияние на качество зрения. В свою очередь различные методы коррекции аметропий, такие как контактная коррекция, линзами сложных конструкций (Егорова Г.Б., 2005) и эксимерлазерные вмешательства на роговице (Семчишен В., 2001, 2004; Аветисов С.Э., Карамян А.А., 2007), могут вызывать увеличение АВП. Это нередко проявляется в снижении максимально корригированной остроты зрения, контрастной чувствительности, появлении светящихся ореолов вокруг источников света, возникновении монокулярной диплопии (Щукин С.Ю. 2005; Holladay J.T. et al., 1991).

Учитывая, что в настоящее время расширяется применение как контактной коррекции, так и эксимерлазерной хирургии у пациентов детского возраста, целью настоящей работы явилось изучение аберраций оптической системы глаза детей и подростков при эмметропии, различных видах астигматизма и методах его коррекции.

Для достижения указанной цели были поставлены 5 задач, первая из которых включала в себя анализ аберраций оптической системы глаза детей и подростков с эмметропией в разных возрастных группах в сравнительном аспекте со взрослыми пациентами с эмметропической рефракцией. Следующая задача имела цель выявить особенности аберраций глаза при различных видах астигматизма у детей и подростков и проанализировать их влияние на состояние зрительных функций. Проведение анализа волнового фронта у детей и подростков в мягких торических контактных линзах и оценка их влияния на функциональные результаты коррекции, а также анализ динамики аберраций оптической системы у детей и подростков, после операции ЛАЗИК и оценить влияние индуцированных аберраций на функциональные результаты коррекции входило в третью и четвертую задачи. Пятую задачу составило проведение сравнительной характеристики аберраций оптической системы и их влияния на зрительные функции при коррекции мягкими торическими линзами и методом ЛАЗИК.

Анализ оптической системы глаза был проведен у 264 человек, (346 глаз).

В основную группу исследования вошли дети и подростки с астигматизмом 121 человек (202 глаза) в возрасте 4-16 лет (в среднем $10,2 \pm 3,1$ лет). Все дети с астигматизмом были разделены на две подгруппы в зависимости от преобладания клинической рефракции. 1-ю подгруппу составили 55 человек (98 глаз) простым и сложным миопическим астигматизмом, во 2-ой подгруппе находились 66 детей и подростков (104 глаза) с простым и сложным гиперметропическим астигматизмом. Величина астигматизма в основной группе варьировала от 0,75 до 6,25 дптр, в среднем величина астигматизма по данным авторефрактометрии составила $2,75 \pm 1,25$ дптр, роговичного астигматизма – $M \pm \sigma 3,5 \pm 1,5$ дптр. Амблиопия высокой степени была отмечена на 22 глазах (в 10,8% случаев), средней степени – на 39 (19,2%), слабой степени – на 88 глазах (43,35% случаев). Анизометропия свыше 2,0 дптр отмечена у 21,2% пациентов.

В контрольную группу вошли дети и подростки с эметропией 113 человек (113 глаз) в возрасте от 4 до 16 лет ($10,8 \pm 1,2$) и взрослые пациенты (30 человек, 30 глаз) в возрасте от 17 до 40 лет ($22,3 \pm 2,1$) с эметропией.

Из основной группы детей с астигматизмом были выделены подгруппы, основанные по принципу проводимой коррекции. 3-я и 4-я подгруппы (34 человека, 49 глаз), корригируемые мягкими торическими контактными линзами (МТКЛ) плановой замены SofLens 66 Toric в дневном режиме ношения. 5-я и 6-я подгруппы (27 детей и подростков, 32 глаза), которым при неэффективности очковой и контактной коррекции или астигматизме свыше 3,0 дптр, анизометропии свыше 2,0 дптр была проведена эксимерлазерная операция ЛАЗИК по стандартной технологии под внутривенным наркозом (у детей до 14 лет). Средний срок наблюдения за детьми составил 2 года.

Всем пациентам проводился комплекс обследований, включавший в себя как общепринятые в офтальмологии методы (визометрия, рефрактометрия, офтальмометрия, ультразвуковая биометрия, пахиметрия, биомикроскопия,

офтальмоскопия), так и специальные методы исследования (видеокомпьютерная кератотопография, aberрометрия, исследование пространственной контрастной чувствительности, объема абсолютной аккомодации).

Нами проведены исследования анатомо-оптических параметров глаза у детей и подростков в различные возрастные периоды. Выявленные изменения анатомо-оптических параметров показали достоверные отличия с возрастом.

В младшей возрастной группе (с 4 до 6 лет) оптическая система достоверно отличается от оптической системы остальных возрастных групп: короткая передне-задняя ось, крутая роговица, более толстый хрусталик, мелкая передняя камера. С 7-летнего возраста и старше не было отмечено зависимости анатомо-оптических параметров от возраста.

С применением высокоточных приборов (анализаторов волнового фронта) стала реализовываться возможность не только качественного описания аберраций, но и их количественного определения. В большинстве aberрометров используются полиномы Цернике, которые позволяют дифференцировать суммарный волновой фронт на аберрации низших порядков (дефокус и астигматизм) и аберрации высших порядков (сферическая аберрация, кома, комаподобные аберрации и др.). Под сферической аберрацией понимают погрешность изображения, выражающуюся в размытости, которая возникает из-за разного преломления лучей, проходящих через центр и периферию линзы. Кома – это погрешность изображения, имеющая вид кометы с хвостом. Образуется при прохождении луча через оптическую систему, элементы которой децентрированы относительно друг друга. Трефоил имеет вид трилистника. Возникает при иррегулярности оптической поверхности.

При анализе аберраций оптической системы глаза (АОСГ) обнаружены изменения у детей и подростков с возрастом, характерные для эметропических глаз в различные возрастные периоды.

Результаты работы продемонстрировали что, у детей 4-6 лет уровень aberrаций был достоверно выше, чем в остальных группах. В дальнейшем с возрастом происходит уменьшение aberrаций высших порядков, что связано с возрастными изменениями анатомо-оптических структур глаза. Данные aberrаций в 7-10-летнем возрасте соответствуют показателям aberrаций оптической системы глаза взрослых пациентов с эметропией и могут быть использованы в качестве целевых показателей при коррекции астигматизма у детей и подростков.

Aberrации высших порядков не коррелируют со сферическим компонентом рефракции ($r=0,047$), что свидетельствует о незначительном их влиянии на формирование оптического изображения, в результате достаточно гладкой сферической поверхности эметропического глаза.

При анализе aberrаций оптической системы глаза выявлено их увеличение при диаметре зрачка 6 мм по сравнению с aberrациями при диаметре зрачка 4 мм ($p<0,001$).

Исследование оптической системы глаза детей и подростков с астигматизмом

Следующим этапом работы было определение основных анатомо-оптических параметров и aberrаций оптической системы глаза у детей с астигматизмом.

В процессе исследования были выделены следующие типы aberрограмм, характерные для различных видов астигматизма: кругло-овальный в 60% случаев (121 глаза), выявлялся в глазах со сложным миопическим и гиперметропическим астигматизмом; равномерно-вертикальный тип встречался в 14,3% случаев (29 глаз) и был свойственен для простого гиперметропического астигматизма; равномерно-горизонтальный – в 16,3% (33 глаза), определялся на глазах с простым миопическим астигматизмом и X-образный – в 9,4% случаев (19 глаз) и был характерен для смешанного астигматизма.

У детей и подростков с астигматизмом наблюдается достоверное увеличение как суммарных aberrаций ($p < 0,01$), так и aberrаций высших порядков ($p < 0,05$) по сравнению с группой пациентов с эметропической рефракцией. Средний уровень RMS HO составляет $0,385 \pm 0,1$ мкм. По нашим данным, у детей и подростков с астигматизмом происходит увеличение aberrаций высших порядков за счет трейфола.

Средний уровень АВП у детей и подростков с различными видами астигматизма при корригированной остроте зрения (КОЗ) 1,0 составил $0,278 \pm 0,04$ мкм (разброс значений варьировал от 0,15 до 0,325 мкм). При наличии амблиопии слабой степени средний уровень АВП был $0,312 \pm 0,05$ мкм (от 0,273 до 0,421 мкм). При КОЗ 0,4 и ниже (амблиопия средней и высокой степени) АВП находились в среднем на уровне $0,42 \pm 0,1$ мкм (0,351 – 0,523 мкм). Таким образом, можно заключить, что средний уровень АВП выше 0,4 мкм является одним из факторов снижения максимально корригированной остроты зрения.

При проведении корреляционного анализа было выявлено, что острота зрения находится в экспоненциальной зависимости от АВП. В 1-й подгруппе 32% колебаний остроты зрения связано с АВП и аналогичная зависимость была выявлена у детей во 2-й подгруппе (28% колебаний остроты зрения связано с АВП).

При исследовании тонких зрительных функций показатели ПКЧ были достоверно ($p < 0,05$) снижены по сравнению с контрольной группой по всему пространственно-частотному диапазону и отсутствовала чувствительность в области высоких частот в группе детей и подростков с миопическим астигматизмом.

Средний уровень объема абсолютной аккомодации при миопическом и гиперметропическом астигматизме составил $6,4 \pm 1,2$ и $8,5 \pm 1,5$ дптр соответственно. Изменения объема аккомодации в меньшей степени зависят от АВП и составляют 7 и 12% у детей и подростков с миопическим и гиперметропическим астигматизмом.

Исследование оптической системы глаза при коррекции мягкими торическими контактными линзами

Следующим этапом работы явилась оценка результатов коррекции различных видов астигматизма мягкими торическими контактными линзами.

В группу детей, корригируемых мягкими торическими контактными линзами, вошли 34 человека (49 глаз). С простым и сложным миопическим астигматизмом было 20 человек (32 глаза) – 3-я подгруппа. Сферический компонент рефракции варьировал в пределах от 0 до -8,25 дптр, миопический цилиндрический компонент – от 1 до 5,25 дптр. Средние значения даны в табл. 4.1 В 4-ю подгруппу вошли дети и подростки (14 человек, 17 глаз) с простым и сложным гиперметропическим астигматизмом. Сферический компонент рефракции варьировал в пределах от 0 до 6,25 дптр, гиперметропический цилиндрический компонент от 1,5 до 4,5 дптр.

Остаточная рефракция (по сферэквиваленту) в контактных линзах в подгруппе детей и подростков с миопическим астигматизмом уменьшилась в 2,1 раза и составила $0,68 \pm 0,6$ дптр, а в подгруппе детей и подростков с гиперметропическим астигматизмом – в 1,6 раза и составила $1,25 \pm 0,71$ дптр. Достоверные изменения рефракции в МТКЛ были получены к сроку коррекции 1-3 месяца, в течение которого, на наш взгляд, происходит адаптация зрительного анализатора к контактными линзам.

С помощью торических контактных линз мы добились снижения уровня суммарных аберраций с $4,995 \pm 2,17$ до $1,88 \pm 0,62$ мкм в подгруппе детей и подростков с миопическим астигматизмом и с $4,121 \pm 2,13$ до $1,9 \pm 1,15$ мкм в подгруппе детей и подростков с гиперметропическим астигматизмом ($p < 0,05$).

Наши исследования показали, что в результате применения контактных линз аберрации высших порядков достоверно возросли по сравнению с исходным уровнем в группах детей и подростков с миопическим и

гиперметропическим астигматизмом. Возможно, это связано с рядом факторов, таких как нестабильность положения контактной линзы на поверхности роговицы, конструкционные особенности МТКЛ.

При анализе увеличения aberrаций высших порядков в результате коррекции МТКЛ было выявлено достоверное увеличение комы с $0,2 \pm 0,12$ мкм до $0,327 \pm 0,13$ мкм у детей и подростков с миопическим астигматизмом ($p < 0,001$) и с $0,13 \pm 0,05$ мкм до $0,27 \pm 0,08$ мкм ($p < 0,001$) у детей и подростков с гиперметропическим астигматизмом. Динамика сферической aberrации была несущественной и недостоверной ($p > 0,1$). Увеличение комы может быть связано с нестабильностью положения контактной линзы на глазу, что является приемлемым в контактной коррекции.

В подгруппе детей и подростков с миопическим астигматизмом острота зрения в МТКЛ практически соответствовала максимально корригированной остроте зрения очковыми линзами $0,64 \pm 0,12$ и составила $0,68 \pm 0,14$. В подгруппе с гиперметропическим астигматизмом острота зрения в контактных линзах составила в среднем $0,65 \pm 0,2$ и была выше на $0,1$ максимально корригированной остроты зрения очковыми линзами до коррекции ($0,51 \pm 0,2$).

В торических контактных линзах средняя ПКЧ повысилась с $7,65 \pm 0,18$ до $12,92 \pm 2,82$ дБ и с $10,62 \pm 0,23$ до $13,2 \pm 1,5$ дБ соответственно в подгруппах детей и подростков с миопическим и гиперметропическим астигматизмом, что приближается к значениям в группе детей и подростков с эметропией.

При ношении МТКЛ было обнаружено повышение объема абсолютной аккомодации с $7,55 \pm 2,45$ до $10,02 \pm 1,97$ дптр в 3-й подгруппе и в 4-й подгруппе с $6,9 \pm 2,78$ до $9,66 \pm 1,58$ дптр соответственно. Необходимо отметить, что при использовании МТКЛ пациенты практически перестали предъявлять астенопические жалобы. Возможно, увеличение аккомодационной способности глаз позволило скомпенсировать увеличение aberrаций высших порядков.

Таким образом, применение мягких торических контактных линз у детей и подростков с различными видами астигматизма показало значительное улучшение оптических характеристик глаза. При этом снижение суммарных aberrаций позволило увеличить не только остроту зрения, пространственную контрастную чувствительность, но и аккомодационную функцию глаза. Это в свою очередь значительно повысило качество зрения у детей и подростков с астигматизмом в период максимальной нагрузки на орган зрения и практически нивелировало астенопические жалобы. Выявленное нами незначительное увеличение aberrаций высших порядков, полученное в результате коррекции астигматизма МТКЛ, существенно не оказало влияния на зрительные функции.

Исследование оптической системы глаза детей и подростков, прооперированных по технологии ЛАЗИК

Отдельный раздел составило исследование волнового фронта у детей и подростков, подвергшихся оперативному вмешательству с целью коррекции астигматизма. Поскольку эксимерлазерные вмешательства на детской роговице до сих пор остаются спорным вопросом и не являются обыденной процедурой, алгоритм отбора детей и подростков перед операцией ЛАЗИК заключался в выборе пациентов с астигматизмом и рефракционной амблиопией, у которых имелась непереносимость полной очковой коррекции и астенопический синдром. Затем проводилась попытка коррекции МТКЛ и при отказе от их ношения по психологическим и социальным причинам проводилась операция ЛАЗИК. Прооперированно 27 человек (32 глаза) по технологии ЛАЗИК на установке «Микроскан» в возрасте от 8 до 16 лет, средний возраст составил $12,75 \pm 3,5$ лет. 10 пациентов (11 глаз) составили 5-ю подгруппу с простым и сложным миопическим астигматизмом, анизометропией. Среднее значение сферы – $-2,28 \pm 2,61$ дптр (от 0 до $-6,5$ дптр), среднее значение цилиндра – $3,77 \pm 1,71$ дптр (от 3,0 дптр до 4,75 дптр). 17 пациентов (21 глаз) вошли в 6-ю подгруппу с простым и сложным

гиперметропическим астигматизмом, анизометропией. Среднее значение сферы – $2,65 \pm 1,5$ (от 0 до 6,25 дптр), среднее значение цилиндра – $3,12 \pm 1,7$ (от 1,5 до 4,5 дптр).

В результате проведения операции отмечено снижение уровня суммарных aberrаций у детей с миопической рефракцией на $2,73$ мкм с $4,618 \pm 1,88$ до $2,48 \pm 1,15$ мкм и гиперметропической рефракцией на $2,56$ мкм с $5,339 \pm 2,06$ до $2,540 \pm 1,79$ мкм, что соответствует уменьшению степени аметропии и приближается к показателям контрольной группы.

Аберрации высших порядков возросли в среднем в 2 раза в обеих подгруппах. Однако особо значимым было увеличение сферической aberrации в группе детей и подростков с миопическим астигматизмом (коэффициент Sph возрос на $0,3$ мкм, $p < 0,01$), что соответствует повышению уровня сферической aberrации у взрослых пациентов, прооперированных по технологии ЛАЗИК, и по всей вероятности, связано с формированием роговичного клапана. В отличие от группы с миопическим астигматизмом у детей и подростков с гиперметропической рефракцией в результате операции не происходило резкого увеличения сферической aberrации, что менее влияет на качество зрения. Однако в данной подгруппе несколько выше были кома и трейлоид (увеличение комы – на $0,3$ мкм и трейлоида – на $0,4$ мкм, $p < 0,01$), что мы связываем с профилем гиперметропической абляции. У двух пациентов (на 3 глазах, $9,4\%$) с гиперметропическим астигматизмом после операции наблюдалось увеличение АВП свыше $1,0$ мкм, что проявлялось астенопическими жалобами в первые 1-3 месяца после операции, которые по мере течения регенераторных процессов в роговице и адаптации зрительной системы к новым условиям уменьшились одновременно со снижением АВП до $0,85$ мкм.

В послеоперационном периоде некорригированная острота зрения соответствовала максимальной корригированной остроте зрения до операции в 5-й подгруппе и составила $0,68 \pm 0,17$. К концу срока наблюдения корригированная острота зрения повысилась на $0,1$ по сравнению с исходными

данными и составила $0,72 \pm 0,19$. В 6-й подгруппе некорригированная острота зрения после операции ($0,65 \pm 0,2$) превышала максимально корригированную остроту зрения до операции ($0,58 \pm 0,1$) на 0,1 и к концу срока наблюдения увеличилась на 0,2 ($p < 0,05$).

После коррекции методом ЛАЗИК детей и подростков произошло увеличение ПКЧ по всему пространственно-частотному диапазону ($p < 0,05$).

При обследовании аккомодационной функции глаза у детей и подростков с миопическим астигматизмом мы обнаружили повышение объема абсолютной аккомодации с $7,12 \pm 1,45$ до $11,1 \pm 1,85$ дптр и в группе детей и подростков с гиперметропическим астигматизмом с $7,8 \pm 1,75$ до $10,2 \pm 0,58$ дптр, что практически соответствует объему аккомодации у здоровых детей и подростков. Как и в случае с МТКЛ увеличение аккомодационной способности глаз, возможно, позволило скомпенсировать увеличение aberrаций высших порядков.

Коррекция различных видов астигматизма методом ЛАЗИК имеет свои особенности и в детской возрастной группе (8-12 лет) наблюдается снижение рефракционного эффекта, в то время как в группе подростков (13-16 лет) рефракционные результаты более стабильны ($p < 0,01$). Визуальные результаты коррекции к концу срока наблюдения были выше в детской возрастной группе, по сравнению с группой подростков, что возможно связано с более пластичным состоянием зрительного анализатора.

Коррекция различных видов астигматизма у детей и подростков с применением технологии ЛАЗИК дает возможность значительного снижения суммарных aberrаций, что в результате операции приводит к повышению остроты зрения, пространственной контрастной чувствительности и улучшению аккомодационной способности глаза. Увеличение aberrаций высших порядков до уровня $0,85$ мкм в основном происходит на периферии роговицы и существенно не оказывает влияния на зрительные функции. На протяжении срока наблюдения они стабилизировались у детей и подростков с

миопическим астигматизмом в сроки 3 месяца, а у детей и подростков с гиперметропическим астигматизмом – к сроку 6 месяцев.

При сравнении коррекции астигматизма у детей и подростков МТКЛ и методом ЛАЗИК выявлено увеличение АВП в обеих группах, связанное с особенностями каждого метода коррекции. При этом зрительные функции и аккомодация имели тенденцию к повышению. Таким образом, у детей с астигматизмом, которым были назначены контактные линзы, одновременно с увеличением остроты зрения и пространственной контрастной чувствительности, произошло повышение аберраций высших порядков. При непереносимости МТКЛ или отказе от ношения по социальным показаниям возможно проведение альтернативного метода коррекции (ЛАЗИК). При этом также повышается максимально корригированная острота зрения одновременно с увеличением аберраций высших порядков. Таким образом, у детей с астигматизмом в сочетании с амблиопией при непереносимости очковой и контактной коррекции показано проведение операции ЛАЗИК как альтернативного метода коррекции, с целью повышения остроты зрения и зрительных функций.

Таким образом, видеокератотопографию и инфракрасное сканирование оптической системы глаза на приборе OPD-scan следует рассматривать как высокоинформативные диагностические методики исследования различных видов астигматизма и аберраций высших порядков оптической системы глаза у детей и подростков в оценке эффективности коррекции зрения. Это позволяет обосновывать необходимую величину коррекции дефокуса и астигматизма и сопутствующих им оптических аберраций, что обеспечивает качественно новый, более высокий уровень коррекции зрения при подборе мягких торических контактных линз, проведении эксимерлазерных операций.

ВЫВОДЫ

1. Выявлена зависимость уровня aberrаций оптической системы от возраста: у детей в возрасте от 4 до 6 лет имеется повышенный уровень как суммарных aberrаций ($1,065 \pm 0,37$ мкм), так и aberrаций высших порядков ($0,343 \pm 0,17$ мкм). У детей от 7 лет и старше оптическая система глаза по данным aberрометрии не отличается от взрослых пациентов с эметропией.
2. У детей и подростков с различными видами астигматизма имеет место увеличение как суммарных aberrаций, так и aberrаций высших порядков. Aberrации высших порядков у детей с астигматизмом влияют на снижение максимально скорректированной остроты зрения в 32% при миопическом астигматизме и 28% случаев при гиперметропическом астигматизме и играют роль в формировании амблиопии.
3. Выявленное уменьшение суммарных aberrаций при коррекции астигматизма мягкими торическими контактными линзами у детей и подростков в основном происходит за счет снижения дефокуса и астигматизма, при этом отмечается увеличение максимально скорректированной остроты зрения, пространственной контрастной чувствительности и улучшение аккомодационной способности глаза. В результате коррекции мягкими торическими контактными линзами происходит достоверное увеличение aberrаций высших порядков.
4. Применение технологии ЛАЗИК при коррекции астигматизма у детей и подростков вызывает снижение суммарных aberrаций, в основном за счет снижения дефокуса и астигматизма, и приводит к повышению максимально скорректированной остроты зрения,

пространственной контрастной чувствительности, улучшению аккомодационной способности глаза. В результате операции ЛАЗИК происходит некоторое увеличение aberrаций высших порядков до уровня 0,85 мкм, который не оказывает отрицательного влияния на зрительные функции.

5. Абберрометрические и функциональные результаты, полученные при коррекции астигматизма мягкими торическими линзами и ЛАЗИК, существенно не различаются. При непереносимости контактной коррекции у детей с различными видами астигматизма и наличии амблиопии методом выбора является ЛАЗИК.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.

1. При нормальной остроте зрения подвергать оперативному вмешательству детей с астигматизмом не следует, так как aberrации оптической системы глаза имеют тенденцию к уменьшению с возрастом. В тех случаях, когда у ребенка имеет место амблиопия средней и высокой степени, непереносимость очковой и контактной коррекции, возможно применение метода ЛАЗИК, что приводит к повышению остроты зрения, пространственной контрастной чувствительности, а увеличение aberrаций высших порядков не дает снижения зрительных функций.

2. При подготовке к оперативному вмешательству детей и подростков с различными видами астигматизма целесообразной является коррекция мягкими торическими контактными линзами с целью повышения остроты зрения и нормализации функционирования аккомодационной системы глаза.

Список литературы.

1. Аветисов С.Э. Современные аспекты коррекции рефракционных нарушений // Вестн. Офтальмологии. -2004. -№ 1.- С. -19-22.
2. Аветисов Э.С. Близорукость.- М. - Медицина.- 1986.- С.74-77
3. Аветисов Э.С., Ковалевский Е.И., Хватова А.В. Руководство по детской офтальмологии. -М. – Медицина. -1987. -С. 496.
4. Аветисов С.Э., Карамян А.А., Суханова Е.В. О показаниях к проведению оптимизированной рефракционной кератоабляции // Вестник офтальмологии.- 2007.- № 5.- С. 3-8.
5. Азнабаев Б.Н. Хирургическая коррекция миопической анизометропии высокой степени у детей методом имплантации заднекамерной отрицательной ИОЛ: Дис. ... канд. мед. наук.- М., -1992.
6. Азнаурян И.Э., Карамян А.А. Технология в комплексном лечении меридиональной формы рефракционной амблиопии при астигматизме у детей и подростков // Съезд офтальмологов России, 7-й: Тез.докл. -М.,- 2000. - Ч.1.- С. 322.
7. Алиев А.-Г.Д., Исмаилов М.И. Аберрации оптической системы глаза человека: клиническая классификация и роль в современной офтальмохирургии // Проблемы офтальмологии. - 2004. -№ 2.- С.- 7-10.
8. Арагвал А. и др. Аберропия. Новое понятие в рефракции // Офтальмология. - 2004.- Т. 1. - № 2- С. 26-33.
9. Антонюк В.Д., Щукин С.Ю. Безаберрационная коррекция высокой миопии на основе мультизональной и персонализированной абляции // Рефракционная хирургия и офтальмология.- 2003.- Т. 3. - № 3. - С. 6-9.
10. Антонюк В.Д. Первые результаты коррекции гиперметропии на эксимерном Лазаре NIDEK EC-5000 // Сб. тезисов. Второй Рос. симпозиум по рефракционной хирургии, 2-й: Сб. тез. - М. - 2002.- Ч. 2. - С. 56.

11. Антонюк В.Д. Эксимерная коррекция посттравматических аномалий рефракции по технологии Ласик методом персонализированной абляции на основе данных aberрометрии // Рефракционная хирургия и офтальмология. – 2003. - Т. 3. - № 2. -С. 4-9.
12. Арताल П. Суперзрение: факты и вымыслы // Вестник оптометрии. - 2002.- № 4. - С.34-41.
13. Архипова М.М. Клинический опыт применения мягких контактных линз Frequency 55 Toric для коррекции астигматизма // Глаз.- 2007. - № 2. - С. 2-5.
14. Архипова М.М. Причины неудовлетворенности пациента торическими мягкими контактными линзами и способы их устранения // Глаз. -№ 6. – 2004. - С. 2-4.
15. Балабанов В.И. О некоторых закономерностях формирования рефракции глаз у школьников и влиянии оптической коррекции на ход этого процесса: Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. – Донецк, - 1971.
16. Балашевич Л.И. Рефракционная хирургия.- С.-Пб.,- 2002.- С.285.
17. Балашевич Л.И., Качанов А.Б., Никулин С.А. Первые результаты исследований сферических аберраций высокого порядка при эмметропии // Федоровские чтения- 2002: Научно-практ. конф. по вопросам коррекции аномалий рефракции. – М., - 2002. -С. 52-57.
18. Балашевич Л.И., Качанов А.Б., Никулин С.А., Головатенко С.П. Аберрометрические исследования при эмметропии и миопии // Биомеханика глаза. - М.- 2004. – С. 61-62.
19. Балашевич Л.И., Качанов А.Б., Никулин С.А. ,Бауэр С.М. Аберрометрия при эмметропии и аномалиях рефракции. (К вопросу об изучении аберраций нормального человеческого глаза) // Биомеханика глаза. – М. – 2007. - С. 238-24.1

20. Балашевич Л.И., Качанов А.Б., Бауэр С.М., Зимин Б.А.
Клиническая аберрометрия и кератотопография при эметропии и аномалиях рефракции // Биомеханика глаза. -М.- 2007. -С. 203-237.
21. Балашевич Л.И., Качанов А.Б., Никулин С.А. и др. Аберрометрия при эметропии и аномалиях рефракции // Биомеханика глаза. – М.- 2005. - С. 202.
22. Балашова Н.В., Коростелева Н.Ф., Крыль Л.А., Ковалева О.А.
Первый опыт коррекции аномалий рефракции у детей и подростков методом ЛАЗИК и эксимерлазерной кератэктомией // Съезд офтальмологов России, 7-й: Тез. Докл.- М. – 2000.
23. Бауэр С.М., Зимин Б.А., Балашевич Л.И. и др. Математический анализ аберраций высшего порядка при эметропии // Биомеханика глаза. – М. – 2004 - С. 63.
24. Белозеров А.Е., Рогатина Е.В., Баргесян Г.Л. Контрастная чувствительность при амблиопии, абиотрофии и атрофии зрительного нерва у детей // Вестн. Офтальмологии. – 1998. -№ 2.- с. 36-39.
25. Бибиков М.М., Бикбулатова А.А., Фархутдинова А.А.
Сравнительный анализ контрастной чувствительности у здоровых детей различного возраста // Научно-практ. конф.: Федоровские чтения-2006: -М. - С. 15-17.
26. Большая советская энциклопедии. «Аберрации».- М. – 1970. -Т.1.- С. 34.
27. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. - М.- Наука.-1970.
28. Бородина Н.В., Ильякова Л.А., Григорян М.Б. Применение мягких торических контактных линз для коррекции астигматизма // Вестн. Оптометрии. – 2006. - № 2.- С. 44-46.
29. Вильшанский Э.Н. Роль массовых осмотров дошкольников в охране зрения детей: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. – М., 1967.

30. Волков В.В., Шелепин Ю.Е. Пособие по визоконтрастометрии: Методические рекомендации.- М., 1988.- С. 36.
31. Воронин Г.В., Аветисов С.Э. Эксимерлазерная коррекция аметропий у детей // Вестн. Офтальмологии. – 2001.- №2. -С. 53-54.
32. Годжаев Н.М. Оптика. –М.: -1977. - Высш. Шк. - с. 186-190.
33. Дашевский А.И. Новые методы изучения оптической системы глаза и развития его рефракции // Киев. - 1956.
34. Дога А.В. Эксимерлазерная рефракционная микрохирургия роговицы на базе сканирующей установки «МИКРОСКАН»: Дис. ... д-ра мед. наук. - М., -2004.
35. Дога А.В., Кишкин Ю.И. Коррекция астигматизма методом LASIK // Рос. симпозиум по рефракционной хирургии, 2-й: Тез докл.- М. -2002. - Ч. 2. - С. 26.
36. Дорри А.М. Клинико-эргономические характеристики у больных с близорукостью после ЛАЗИК: Дисс. ... канд. мед. наук.- М.,- 2003.
37. Дутчин И.В., Егоров В.В., Смолякова Г.П., Сорокин Е.Л. Анализ качества зрения и причин его снижения при коррекции миопии методами ФРК и LASIK // Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии: Сб. науч. ст. - М. - 2006. - С.53-56.
38. Егорова Г.Б. Влияние жестких газопроницаемых и мягких би- и мультифокальных контактных линз на аберрации глаза и зрительные функции // Всерос. школа офтальмолога, 3-я: Сб. тр..- М.- 2006. -С. 184-189.
39. Егорова Г.Б. Оптимизация контактной коррекции первичных и вторичных аметропий // Автореф. дисс...д-ра мед. наук. - М., - 2005.
40. Егорова Г.Б., Бородина Н.В., Бубнова И.А. Влияние бифокальных мягких контактных линз на аберрации глаза человека // Вестн. Оптометрии. – 2003.- № 4.- С. 30-32.

41. Ермилова И.А. Система реабилитации детей со сложными видами аномалий рефракции на базе хирургических методов: Дисс. Д-ра мед наук. – М., - 1999.
42. Жукова О.В., Спиридонов Е.А. Эксимерлазерная коррекция гиперметропии как метод лечения сходящегося аккомодационного косоглазия // Рос. симпозиум по рефракционной хирургии., 2-й: Тез. докл. – М., - 2002.- Ч. 2.- С.12.
43. Иванов В.Ф. Анатомическая структура астигматизма: Автореф. дис. ... докт. мед. наук.- Днепрпетровск,- 1967.
44. Исмаилов М.И. Исследование роли аберраций оптической системы глаза в офтальмохирургии: Автореф. Дисс. ... д-ра мед. наук.- М., - 1999.
45. Каеткина Е.В. Влияние оптической коррекции на развитие остроты зрения и контрастную чувствительность у детей с гиперметропией // Офтальм. Журн. – 1987. - № 8.- С. 469 -473.
46. Качалина Г.Ф. Хирургическая технология трансэпителиальной фоторефрактивной кератэктомии на эксимерлазерной установке «ПРОФИЛЬ-500»: Дисс. ... канд. мед. наук. – М., - 2000.
47. Киваев А.А., Курсаков А.В., Киваев В.А. Методы подбора жестких роговичных контактных линз для коррекции астигматизма // Вестн. Оптометрии.- 2003. - № 5.- С. 28-33.
48. Киваев А.А., Шапиро Е.И. Контактная коррекция зрения. – М. - 2000.
49. Кишкин Ю.И., Медведев И.Б., Алисов И.А., Зубарева С.А. Первый опыт применения ЛАЗИК у детей с миопической анизометропией // Съезд офтальмологов России, 7-й: Тез. докл. – М., - 2000.
50. Кишкин Ю.И., Дога А.В., Пахомова А.Л., Сорокин А.С. Сравнительная оценка операции LASIK при использовании лазеров Микроскан (ЦФП) и MEL-80 (Carl Zeiss) // Современные технологии

- катарактальной и рефракционной хирургии-2006, 7-я: Сб. научн. ст. – М., 2006. – С. 95- 97.
51. Козорез Л.П. Особенности динамики изменения рефракции глаза у детей школьного возраста: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. - М.,- 1978.
52. Коллетта Н.Дж. Коррекция аберраций высшего порядка: значение для врачебной практики // Современная оптометрия. -2007 -№ 6. - С. 37-43.
53. Корниловский И.М. Новый биоптический подход к диагностике и фоторефрактивной коррекции аберраций оптической системы глаза // Рефракционная хирургия и катаракта: Сб. научн. ст. - М., - 2002.- С. 84-87.
54. Корниловский И.М. Лазериндуцированное кераторефракционное кератомоделирование – новое направление в коррекции аметропий и оптических аберраций // Рефракционная хирургия и офтальмология. – 2003. - т.3. - №4.
55. Корниловский И.М., Годжаева А.М. Биоптический подход в фоторефракционной хирургии //Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии: Сб. научн. ст. - М., - 2006.- С. 124-128.
56. Корниловский И.М., Годжаева А.М. Новый биоптический подход к оценке оптических аберраций глаза и восстановительной коррекции зрения // Рефракционная хирургия и офтальмология. -2006. - Т.6. - № 1.- С. 4-12.
57. Корниловский И.М., Годжаева А.М., Диденко Т.Н. Эффективность коррекции контактными линзами роговичных и осевых аберраций по данным лазерного сканирования оптической системы глаза // Вестн. ОГУ.- 2004. - С. 134-136.
58. Корниловский И.М., Годжаева А.М., Купцова О.Н. Новые возможности восстановительной коррекции зрения по данным

- видеокератографии и инфракрасного сканирования оптической системы глаза на приборе OPD-scan // Офтальмология. – 2006. -Т. 3.- № 3. - С. 72-80.
59. Корниловский И.М., Диденко Т.Н., Годжаева А.М. Влияние спазма аккомодации на структуру aberrаций оптического тракта глаза. // Рефракционная хирургия и офтальмология. – 2004. -Т.4. 2. - С.8-11.
60. Корниловский И.М., Купцова О.Н., Годжаева А.М. Коррекция очками и контактными линзами aberrаций оптической системы глаза при аметропиях на основе биооптического подхода // Актуальные проблемы офтальмологии: Сб. тр. -М., - 2006. - С.50-52.
61. Корнюшина Т.А. Исследование aberrаций глаза человека при различных видах рефракции: Дис. ...канд. биол. наук. - М., - 1979.
62. Корнюшина Т.А., Розенблюм Ю.З. Aberrации оптической системы глаза человека и их клиническое значение // Вестник оптометрии. - 2002. - № 4. - С.13-20.
63. Кузина Е.И. К вопросу об астигматичности оптической структуры эмметропических глаз // Офтальмол. журн. – 1984. -№ 1.- С.167-169.
64. Куликова И.Л., Паштаев Н.П., Сусликов С.В., Иванова Т.Г. Отдаленные результаты лазерной термokerатопластики у детей и подростков с осложненной гиперметропией // Рефракционная хирургия и офтальмология. – 2004. - Т. 4. - № 3. - С. 28-34.
65. Куликова И.Л. Комплексный метод лечения осложненной гиперметропии у детей и подростков: Дисс. ... канд. мед. наук. - М., - 2004.
66. Куликова И.Л., Паштаев Н.П. Гиперметропический ЛАЗИК у детей и подростков с анизометропией // Офтальмохирургия. – 2006. - № 1.- С. 4-9.
67. Куликова И.Л., Паштаев Н.П. Гиперметропический ЛАЗИК у детей и подростков // Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии: Сб. научн. ст. - М., - 2006.- С.144-147.

68. Куликова И.Л., Паштаев Н.П. Хирургическая коррекция гиперметропии у детей // Новое в офтальмологии. - 2007 -№ 1- С. 35-43.
69. Линник Е.А. Опыт применения мягких торических линз для коррекции астигматизма у детей // Актуальные вопросы контактной коррекции зрения: Сб. научн. ст. – М., - 2005. – С. 26.
70. Лобанова О.С. Опыт применения мягких торических контактных линз для коррекции астигматизма // Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии: Сб. научн. ст. - М., - 2006. - С. 152-157.
71. Медведева Н.И. Возможности различных методов хирургической коррекции гиперметропической анизометропии у детей: Автореф. дисс. ... канд. мед. наук. – М., -2002.
72. Медведева Н.И, Шелудченко В.М. Выбор метода хирургической коррекции гиперметропической анизометропии у детей // Вестн. Офтальмологии. – 2003. -№ 6. - С. 14-18.
73. Митронтова М.Л. Комплексное лечение рефракционной амблиопии у детей с гиперметропией: Дисс. канд. мед. наук. – М., 1996.
74. Нагорский П.Г. Мягкие контактные линзы в лечении рефракционной амблиопии у детей // Вестн. Оптометрии. -.2007. - № 1. - с. 32-34.
75. Нисан Б.А., Плыгунова Н.Л. Асферические контактные линзы – что это такое? Каковы преимущества асферических линз перед сферическими? // Вестн. оптометрии. – 2005. -№ 3. - С. 44-47.
76. Онуфрийчук О.Н., Розенблюм Ю.З. О привычном тоне аккомодации // Офтальмология. – Т 3- № 3. – 2006. - С. 84-87
77. Островская М.А. Зависимость разрешающей способности глаз от aberrаций // Оптико-механическая промышленность. – 1963.- № 2.- С. 10-13.

78. Островская М.А. Зависимость разрешающей способности глаза от различного сочетания aberrаций // Оптико-механическая промышленность. -1966. - № 3. - С.1-7.
79. Островская М.А. Частотно-контрастная характеристика глаза // Оптико-механическая промышленность. -1969. - № 2.- С.45-54.
80. Пахомова А.Л. Клинико-эргономические характеристики у больных с близорукостью после фоторефрактивной кератэктомии // Дисс. ... канд. мед. наук. - М., – 2002. - С.75-79.
81. Першин К.Б., Пашинова Н.Ф., Сайфуллин Н.Ф. Хирургическая коррекция гиперметропии.// Рос. симпозиум по рефракционной хирургии, 2-й: Сб. научн. ст.- М. - 2002. - Ч. 2. - с. 38.
82. Першин К.Б., Овечкин И.Г., Пашинова Н.Ф., Соловьева Г.М. и др. Особенности функционального восстановления зрения после фоторефракционных операций.// Сб. тез. Второй российский симпозиум по рефракционной хирургии.- М.-2002.- ч.2 -с.43
83. Полчаев Н.А., Левченко О.Г. Рефрактогенез у детей раннего возраста и у школьников // Возрастные особенности органа зрения в норме и при патологии у детей (врожденные патологии.- М.,- 1977.- С. 55-62.
84. Похабов А.А., Татаренко А.В., Гетто О.Г., Дроздик Т.К. Коррекция смешанного астигматизма эксимерным лазером VISX Star S2 // Рос. симпозиум по рефракционной хирургии, 2-й: Сб. научн. ст. - М., - 2002. - Ч. 2. - С. 25.
85. Проскурина О.В Коррекция астигматизма у детей (результаты экспертного исследования // Вестн. оптометрии. – 2001. - № 3. -С. 24-25.
86. Проскурина О.В. Развитие рефракции в детском возрасте // Вестн. офтальмологии. – 2003. - № 6. - С.51-53.

87. Проскурина О.В. Динамика рефракции, диагностика и принципы очковой коррекции аметропии у детей и подростков: Дисс... д-ра мед. наук. - М., - 2007.
88. Радзиховский Б.Л. Астигматизм человеческого глаза: М., - 1969.
89. Розенблюм Ю.З. Адаптация к аметропиям и принципы их коррекции // Дис. ... д-ра мед. наук. – М., 1976.
90. Розенблюм Ю.З. Функционально-возрастной подход к компенсации аметропий // Вестн. офтальмологии. -2004.- №1- С. 51-56.
91. Розенблюм Ю.З, Корнюшина Т.А. Клиническая aberрометрия глаза // Актуальные вопросы контактной коррекции зрения:Сб. научн. тр. – М., 1989. – С.66-70.
92. Розенблюм Ю.З., Проскурина О.В. Узловые вопросы коррекции астигматизма // Вестник оптометрии. – 2004. -№ 3. - с. 57-61.
93. Рыбинцева Л.В. Возможности применения эксимерлазерной коррекции при аномалиях рефракции у детей и подростков // Дисс. ... канд. мед. наук. -М., -2000.
94. Рыбинцева Л.В. Особенности проведения лазерного кератомилеза и результаты коррекции аметропий у детей // Съезд офтальмологов России, 7-й: Сб. научн. ст. – М., – 2000. - Ч.1. -С. 286-287.
95. Рыбинцева Л.В., Куренков В.В. Коррекция астигматизма высокой степени и астигматической анизометропии методом интрастромальной фотокератоабляции у детей и подростков // Вестн. офтальмологии. – 2002. - № 4. - С. 18-21.
96. Семчишен В., Мрохен М. Особенности аберраций высших порядков при аметропии и эмметропии // Рефракционная хирургия и офтальмология. – 2003. - Т. 3.- № 3. - С.10-12.
97. Семчишен В., Мрохен М., Сайлер Т. Оптические аберрации человеческого глаза и их коррекция // Рефракционная хирургия и офтальмология. – 2003 -Т. 3. -№ 1. -С. 5-13.

98. Семчишен В., Мрохен М. От рассеяния до волнового фронта. Оптика заживления // Вестн. офтальмологии. -2004. - № 1.- С. 42-44.
99. Семчишен В., Мрохен М., Гуревич И., Сайлер Т. Влияние оптических аберраций, вызванных децентрацией зоны абляции при лазерной коррекции зрения, на остроту зрения // Вестн. офтальмологии. -2001.- № 6.- С. 16-19.
100. Сенокосов А.В., Дзодзуашвили С.А., Васильева К.А. Влияние мягких контактных линз асферического дизайна на контрастную чувствительность зрительной системы // Современная оптометрия. - 2007.- № 5.- С. 10-13.
101. Сердюченко В.И. Состояние контрастной чувствительности у детей // Офтальмологический журнал. – 1988. № 6. - С. 390-193.
102. Сергиенко Н.М. Офтальмологическая оптика: М., - 1991 -С. 24-44.
103. Смирнов М.С. Измерение волновой аберрации человеческого глаза // Биофизика. - 1961.- Т. 6.- С. 687-703.
104. Спиридонов Е.А.. Ключева З.П. Эффективность ФРК при миопии и миопическом астигматизме // тез.Второй Рос. симпозиум по рефракционной хирургии, 2-й: Сб. научн. ст. -М.,- 2002.- Ч. 2.- С.10.
105. Суханова Е.В. Оценка эффективности первичного оптимизированного LAZIK: Автореф. Дис. ... канд. мед. наук. – М., 2007.
106. Тарутта Е.П., Смирнова Т.С., Ходжабебян Н.В. и др. Двухлетний опыт ФРК с помощью эксимерного лазера MEL-70 // Съезд офтальмологов России, 7-й: Тез. докл. – 2000.- М., - С. 298.
107. Тимофеев Н.Н. Особенности аккомодативной функции у детей 6-7 лет по данным эргографии // Офтальмомол. журн. -1988. - № 7. - С. 400-401.
108. Трон Е.Ж. Изменчивость оптического аппарата глаза и ее значение для клиники. - Л.,- 1947.

109. Уткин В.Ф. О состоянии рефракции в детском возрасте и профилактических мероприятиях при ее аномалиях: Дисс. ... канд. мед. наук. - М.,- 1965.
110. Фокин В.П., Маковкин Е.М., Ремесленников И.А., Блинкова Е.С. Коррекция гиперметропии методом ЛАЗИК при высокой остроте зрения // Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии: Сб. научн. ст. -М., - 2006.- С. 255-257.
111. Шевцов В.Г. Динамика рефракции глаз у школьников Памира и мероприятия по профилактики близорукости: Автореф. дисс. ... канд. мед. наук. - М., - 1977.
112. Шелудченко В.М. Разрешающая способность глаза после рефракционных операций: Дисс... д-ра мед. наук. - М.,- 1995.
113. Щукин С.Ю. Совершенствование методов эксимерлазерной коррекции миопии высокой степени: Дисс. ... канд. мед. наук. – 2005.
114. Эскина Э.Н., Румянцева О.А. Результаты применения полноапертурного эксимерного лазера в коррекции гиперметропии высокой степени // Рос. симпозиум по рефракционной хирургии: Сб. научн. ст. -М., -2002.- Ч. 2- С. 51.
115. Эскина Э.Н., Шамшурова А.М., Белозеров А.Е. Контрастная чувствительность при различных аномалиях рефракции до и после фоторефрактивной эктомии // РМЖ. Клиническая офтальмология- 2001.- Т. 2. № 2. -с. 51.
116. Яблоков М.Г., Мачехин В.А., Колотов М.Г., Вартапетов С.К. Клинические исследования волнового фронта на цифровом абберрометре Multispot-250 // Глаукома: Сб. тез. – 2005. - С.39.
117. Яблоков М.Г., Мачехин В.А., Колотов М.Г., Вартапетов С.К и др., Первые результаты операций персонализированного LASIK по технологии WaveFront на российской платформе Микроскан-Multispot-250 // Глаукома: Сб. тезисов. – 2005. - С.142.

118. Яблоков М.Г., Колотов М.Г., Сырых И.Ю. « M-LASIK на установке Микроскан – 2000 // -Глаукома: Сб. тез. – 2005. - С.119.
119. Abrahamsson M., Fabian G., Sjostrand J. Changes in astigmatism beetwen the ages of 1 and 4 years: longitudinal study // Br. J. Ophthalmol. -1988. -Vol. 72.- P. 145-149.
120. Abrahamsson M., Fabian G., Sjostrand J. A longitudinal study of a population based sample of astigmatic children // Acta Ophthalmol. Copenh.- 1990. - Vol. 68.- No 4.- P. 428-434.
121. Alio J.L. Montes-Mico R. Wavefront-Guided versus standard LASIK enhanecement for residual refractive errors // Ophthalmology. – 2006. - No 2. -Vol. 113. - P.191-197.
122. Applagate R.A. Limits to vision: can we do better then nature? // J Refr. Surg. – 2000.- Vol.- 16.- P. 547-551.
123. Artral P. Aberrations by using Dobl-pass techniques // J. Refract. Surg. -2000. – Vol.16. – No 5. -P. 560-562.
124. Atchison D.A. Aberrations associated with ridid cotntact lenses // J. Opt. Soc. Am. -1995. -Vol. 12.- No 10.- P. 2267-2273.
125. Atkinson J., Braddisk O., French J. Infant astigmatism: its disappearance with age // Vision Res. -1980.- Vol. 20.- P. 891-893.
126. Aurtrata R., Rehurek J. Laser-assisted subepithelial keratectomy and photorefractive keratectomy vtrsus conventional treatment of myopic anisometropic ambliopia in children // J. Cataract. Refract. Surg. – 2004.- Vol. 30.- P. 74-83.
127. Barbero S., Marcos S., Merayo-Llolves J., Moreno-Barriuso E. Validation of the estimation of corneal aberration from videoceratotopografy in keratorkonus // J. Refract. Surg. -2002. – Vol. 18.- No 3.- P.263-270.
128. Barequet S., Wygnanski-Jaffe T., Hirsh A. Laser in situ keratomileusis improves visual acuity in some adults with ambliopia // J. Refract. Surg.- 2004.- Vol. 20.- P.25-28.

129. Betti L. Sulla myopia // Boll. Oculist. -1958.- Vol. 37. - P. 518-525.
130. Bogan S.J. Classification of normal corneal topography based on computer-assisted videokeratoscopy // Arch. Ophthalmol. – 1990. -Vol. 108. - P. 945-949.
131. Brabander J., Chaten N., Bouchard F. et al. Contrast sensitivity soft contact lenses compensated for spherical aberration in high ametropia // Optom. Vis. Sci. -1998. - Vol.75. –No 1. -p.43.
132. Burns S. A. The Spatially resolved refractometr.// J. Refract. Surg.- 2000. - Vol. 16. – No 5. - P. 556-569.
133. Calossi A. Corneal asphericity and spherical aberration // J. Refract. Surg. – 2007.- Vol. 23. P. 505-514.
134. Campbell C.E. Improving visual function diagnostic metrics with the use of high order aberration information from the eye // J. Refract. Surg.- 2004.- Vol. 20.- P. 495-503.
135. Chalita M. R. et al. Ladarwave wavtfront mtasurement in normal eyes. // J. Refract. Surg. – 2004. -Vol. 20.- P. 132-138.
136. Chalita M.R. Waheed S., Xu M., Krueger R.R. Wavefront analisis in post Lasik eyes and its correlation with visual symptoms, refractionand topography // Invest. Ophtalmol.Vis. Sci.- 2003. –No 44 (5). - P. 2651.
137. Charman W.N., Walsh G. Variations in the local refractive correction of the eye across its entrans pupil. Optometry & Vis. Sci.- 1989.- Vol. 61.- No 1. – P. 34-40.
138. Dietze H.H., Cox V.J. On - and off eye spherical aberration of soft contact lenses and constquent changes of effective lens power [In Proces Citations]// Opton. Vis. Sci.- 2003. –Vol. 80. –No 2. –P. 126-134.
139. Donahue S.P. Long-term outcomes of photorefractive keratectomy for Anisometroopic ambliopia in children // Ophthalmology. 2006-Vol. 113 .- No 2.- P. 197-168.
140. Fam H-B., Lim K-L. Effect of high order wavefront aberration on binocular summation // J. Refract. Surg.- 2004. -Vol. 20. P. 570-575.

141. Frankhauser F., Kremerrer M., Mrohen M. et al. The effect of accomodation, midriasis and cycloplegia on aberrometry // ARVO.- Abstract 2248.- Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.- 2000. Vol. 41. P 461
142. Fudjikado T. et al. Age-related changes in ocular and corneal aberrations // Am. J. Ophthalmol. – 2004.- No 1.- P.143-146.
143. Fulton A.,B., Dobson V., Salem D., et al. Cycloplegic refractions in infants and young children // Am. J. Ophthalmol.- 1980.- Vol. 90.- P. 239-247.
144. Grosvenor T., Perrigin D. M., Perrigin J., Maslovitz B. Houston myopia control study: a randomized clinical trial. Part II. Final report by the patient care team // Am. J. Optom. -1987. - Vol. 64.- No. 7.- P. 482-498.
145. He J.C., Burns S.A., Marcos S. Monochromatic aberrations in the accommodated human eye. // Vis. Res. -2000.- No 40. P. 41-48.
146. Hirsch M.J. The longitudinal study in refraction // Amer. J. Optom.- 1964. -Vol. 41.- No. 3.- P. 137-141.
147. Holladay J.T., Piers P.A., Koranyi G., MoorenM., Norrby S. A new intraocular lens design to reduce spherical aberration of pseudophakic eyes // J. Refract. Surg. -2002. – Vol.18. - № 6. -P. 683-691.
148. Hong X., Himebaugh N., Thibos LN. On- eye evaluation of optical performance rigid and soft contact lenses // Optom. Vis. Sci.- 2001.- Vol 78.- No 12.- P. 872-880.
149. Hopkinsson B., Arnold P., Billingham B. et al. Can retinoscopy be used to screen infants for ambliopia? A longitudinal study of refraction in the first year of life // Eye.- 1992. - Vol. 6. - P. 607-609.
150. Howland H.C., Atkinson J., Braddick O., French J. Infant astigmatism measured by photorefractometry // Science. -1978.- Vol. 202.- P. 331-333.
151. Howland H.C., Sayles N. Photorefractive measurement of astigmatism in infants and young children // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. -1984. -Vol. 25. - P. 93-102.

152. Ingram R.M. Walker C., Wilson J.M et al. Prediction of ambliopia and squint by means of refraction at age 1 year // Ibid.- 1986.- Vol. 70.- P.12-15.
153. Klyce S. D., Karon M.D., Smolek M.K. Advantages and disadvantages of the Zernike expansion for representing wave aberration of the normal eye.// // J. Refract. Surg. -Vol. 20. –sept./oct. -2004-537-541
154. Kohnen T., Rasper T., Kohnten E-M, Buhren J. Correlation of infrared pupillometers and CCD-Camera imaging from aberrometry and videokeratotopography for determining scotopic pupil size // J. Refract. Surg. -2004. -Vol. 30.
155. MacRae S. Fujieda M. Silt sciascopic-guided ablation using the Nidek laser // J. Refract. Surg.- 2000.- Vol.- No 5. – P. 576-580.
156. Mahajan V.N. Aberrations theory made simple. Part 2. SPIE Optical engineering press.- 1991.
157. Mareshal A. Etude des effect combines de la diffraction et des aberrations geometriquessur L' image d'un point lumineux// Revue d'optique.- 1947.- P. 257-277.
158. Mierdel P. et al. During fluctuation of higher order ocular aberrations. Correlation with intraocular pressure and corneal Thickness // J. Refract. Surg.- 2004.- Vol. 20.- P. 236-242.
159. Mohindra I., Held R., Gwiazda J., Brill S. Astigmatism in infants // Science.- 1978.- Vol. 202.- P. 329-330.
160. Montes-Mico et al. Wavefront analysis of higher order aberrations in dry eye patients // J. Refract. Surg.- 2004.- Vol. 20.- P. 243-247.
161. Mrochen M., Kaemmerer M., Mierdel P. et. al. Principles of Tschering Aberrometry // J. Refract. Surg. – 2000.- Vol. 16- № 5. – P. 570-571.
162. Nassarella B.R.F., Nassarella J.J. Laser in situ keratomileusis in children 8 to 15 years old // 2001.- J. Refract. Surg. – 2001.- Vol. 17- P. 519-524.
163. Nucci P, Deak A-V. 2001.

164. O'Keefe M.O., Nolan L. Lasik surgery in children // Br. J. Ophthalmol. – 2004.- 88.- P.19-21.
165. Oshika T., Klyce S.D., Applegate R.A., Howland H.C. Danasoury M.A. Compression of corneal Wavefront aberrations after refractive keratectomy and laser in situ keratomileusis // Am. J. Ophthalmol. - Vol.127.- No 1. - P.1-7.
166. Oshika T., Klyce S.D, Applegate R.A, Howland M.C. Changes in corneal wavefront aberrations with aging // IOVS.- 1999.- Vol. 40.- No 7.- P. 1351-1355.
167. Oshika T., Okamoto C., Samejima T. et. al. Contrast sensitivity function and ocular higher-order wavefront aberrations in normal human eyes // Ophthalmology. -2006.- Vol. 113.- No 18.
168. Paysse E., Coats D.K., Hussein M.A.W., Hamill M.B. Long-term outcomes of photorefractive keratectomy for anisometropic ambliopia in children // Ophthalmology. - 2006- Vol. 113. –No 2. - P.169-176.
169. Pesudovs K., Marshak J.D., Donnelly W.J. et. al. Measuring visual acuity – mesopic or photopic conditions, and high or low contrast letters? J. Refract. Surg. -2004.- Vol. 20.- P. 508-513.
170. Phillips C.B., Prager T.O., McClenellen G., Mintz-Hittner H.A. Laser in situ keratomileusis for high hyperopia.- 2004.
171. Rashad K.M. Laser in situ Keratomileusis for myopic anisometropia in children // J. Refract. Surg. -1999. -Vol. 15. –P. 429-435.
172. Rosenblum W.M., Christensen J.L. Objective and subjective spherical aberration measurement of the human eye // Progress in optics/ Ed by.- Wolf. North- Holland Amsterdam.- 1976.- Vol. 13.- P. 69-91.
173. Saishin M., Mine K., Matsuda T. et al. Exact clinical application of retinoscopy // Jpn. J. Ophthalmol.- 1979. -Vol. 23. - P.31-37.
174. Sarver E., Applegate R.A. The importance of the phase transfer function to visual function and visual quality metrics // J. Refract. Surg. - 2004.- Vol. 20.- P. 504-507.

175. Sato L., Awaya S. Suzuki Y. The relationship between the development change in visual acuity measurement and change of refraction error in young infant // Nippon Ganka Gakkai Zasshi.- 1993.- Vol. 97.- No 7.- P. 861-867.
176. Srivannaboon S., Rainstein D.Z., Archer T.J. Diurnal variation of high order aberrations in human eyes // Refract. Surg.- 2007.- Vol. 23. -P. 442-446.
177. Taylor N., Eikelboom R.M., van Sarloos P.P., Reid H.G. Determining the accuracy of an eye tracing system for laser refractive surgery // J. Refract. Surg.- 2000.- Vol. 16.-No 5. – P. 643-646.
178. Thibos L. N. The prospects for perfect vision // J. Refr. Surg.- 2000.- Vol. 16.- P. 40-546.
179. Yoon G., Jeong T.M., Cox G.I., Williams D.R. Vision improvement by correcting high order aberrations with phase plates in normal eyes. J. Refract. Surg. – 2004.- Vol. 20.- P. 523-527.
180. Yoon G., MacRae S., Williams D.R., Cox I.G. Causes of spherical aberration induced by laser refractive surgery //J. Cataract. Refract. Surg. - 2005. - Vol. 31.- P. 127-135.
181. Zernike F. Beugungstheorie des Schneidenverfahrens und seiner verbotsserten from der phasenkontrastmethode: Physica, I.- 1934.- 2.- P. 689- 704.